

R, sont très bons, ainsi que le montre le tableau ci-après :

SONDAGES	ÉPAISSEUR	FER	CHAUX	SILICE
U (Montiers).....	2 ^m ,48	40	9	5
FO —	1,45	39	7	8
FL —	3,40	40	8	6
R (La Chénois).....	2,93	35	15	7

Aux sondages P et Q, il n'y a plus qu'un banc insignifiant. Dans tout le reste du bassin de l'Orne, la couche rouge ne renferme rien d'exploitable.

REMARQUE. — Les résultats trouvés en couches jaune et rouge, au voisinage des failles de l'Orne et du Woigot, favorables tantôt sur une lèvre, tantôt sur l'autre, indiquent que les mouvements de terrains ne se sont pas faits toujours dans le même sens, lors des dislocations successives. C'était tantôt un côté, tantôt l'autre qui s'abaissait. Cette observation justifie la réserve que nous faisons au chapitre II (p. 44), sur le défaut de concordance possible, au voisinage des failles, entre le relief actuel des couches et celui qu'elles ont pu affecter lors des dépôts.

CHAPITRE VII.

CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES SUR LA COMPOSITION DES MINÉRAIS ET LEUR GENÈSE.

Nous avons déjà donné, à la fin du chapitre IV, des indications relatives à la composition des minerais du bassin de Landres. Nous avons montré : 1° que les couches ferrugineuses s'étaient formées par le mélange des matières minérales amenées de la profondeur par les sources, avec les sédiments pauvres contemporains, constitués aux

dépens des terrains préexistants ; 2° que, dans le voisinage des centres d'émission, la précipitation du fer a atteint son maximum et a permis la constitution d'une zone de grande richesse ; 3° que, sur la périphérie de cette première zone, il en existe une seconde où le carbonate de chaux s'est précipité à son tour en grande abondance ; 4° et qu'enfin, au-delà de la deuxième zone, s'étendent des formations sédimentaires simplement enrichies par l'élément ferrugineux devenant de moins en moins abondant.

Il sera fort intéressant, pour les exploitants de mines, de connaître ces différentes zones, dont dépend étroitement la valeur des produits.

Les première et deuxième zones contiennent les minerais riches ou calcaires, presque purs. Ce n'est que sur la bordure extérieure de la deuxième zone que le mélange avec les sédiments pauvres devient très sensible.

Au large de cette limite, suivant que les sédiments contemporains étaient quartzeux, argileux ou calcaires, les produits présentent des compositions très disparates où la silice, l'alumine ou la chaux atteignent quelquefois des teneurs considérables.

En ce qui concerne le traitement métallurgique, les minerais à teneur élevée en silice ou en chaux ne sont pas toujours à dédaigner. Grâce à la prédominance de l'un ou de l'autre de ces éléments, et aussi parfois à celle de l'alumine, leur caractère réfractaire s'accroît et ils deviennent éminemment propres à la fabrication des fontes de moulage, fabrication dans laquelle il faut réaliser une allure très chaude pour parvenir à introduire beaucoup de silicium dans la fonte.

En dehors de ce cas spécial, la présence de la silice à l'état de quartz dans les minerais est plutôt un inconvénient, et on cherche à l'éviter autant que possible, surtout depuis que le procédé Thomas s'est répandu dans l'Est.

§ 1. — SILICE ET ALUMINE CONTENUES DANS LES MINÉRAIS.

Dans les très nombreuses analyses qui ont été faites dans ces dernières années, à l'occasion des recherches de mines, on ne s'est jamais préoccupé de doser séparément la silice combinée et le quartz. D'une façon générale, on sait que les minerais très quartzeux présentent une grande friabilité. Ceux où prédomine le calcaire sont, au contraire, extrêmement résistants.

Des échantillons de minerais de cette dernière catégorie, essayés à l'usine de la Société de Pont-à-Mousson, n'ont commencé à se fendiller que sous des pressions variant entre 217 à 288 kilogrammes par centimètre carré.

Dans les minerais purs, le ciment qui réunit les oolithes est à la fois calcaire et silicaté; le sesquioxyde de fer s'est concentré spécialement dans les oolithes, mais sans se dégager entièrement de la chlorite, qui a été en partie concrétionnée avec lui.

C'est, du moins, ce que tendent à démontrer les travaux de M. Bleicher, qui a étudié les effets d'une action prolongée de l'acide chlorhydrique et du chlorate de potasse, avec ou sans addition d'acide nitrique, sur les oolithes ferrugineuses. M. Bleicher a constaté de la sorte :

1° Que les oolithes sortent de ce traitement privées de fer et réduites à un squelette siliceux zoné;

2° Que le ciment dans lequel les oolithes sont nichées est devenu aussi complètement privé de fer et qu'il est souvent d'une structure fibrillaire;

3° Qu'on observe quelquefois des grains de sable quartzeux entrant dans la composition du ciment ou dans celle des oolithes.

M. Bleicher conclut ainsi : « La richesse du minerai « est en fonction directe du rapprochement des grains « oolithiques, qui sont les grands condensateurs de limonite et en raison inverse de l'abondance du calcaire « sous forme de débris de coquilles et de l'abondance du « ciment, quelle que soit sa nature. »

Théorie de la genèse par substitution. — Le squelette siliceux zoné que signale M. Bleicher serait le résidu de la destruction de l'oxyde de fer libre et de celui qui existait en combinaison avec la silice dans les oolithes.

Des recherches récentes de M. Stanislas Meunier l'ont amené à des conclusions notablement différentes. Le résidu obtenu par l'action prolongée de l'acide chlorhydrique sur les oolithes serait non pas de la silice, mais un mélange de sable et d'un hydrate d'alumine, constituant une variété de bauxite. M. Stanislas Meunier part de cette constatation pour conclure à la formation des minerais par une épigénie progressive de dépôts précédemment calcaires, sous l'action prolongée d'eaux chargées de sels solubles de fer et d'alumine.

A l'appui de cette théorie, M. Stanislas Meunier cite les proportions anormales d'alumine qui ont été trouvées dans certains minerais (13 p. 100 pour des mines de la région de Nancy).

L'indication d'une teneur en alumine aussi élevée est loin de correspondre à la généralité des cas; dans la pratique courante, elle ne se rencontre que très rarement, pour ne pas dire jamais. Même dans ceux des minerais de la région de Nancy qui passent pour être assez alumineux, elle ne s'écarte guère du chiffre de 7 à 9 p. 100. Témoin les analyses ci-dessous de trois mines différentes du bassin de Nancy.

MINES DE	PERTE AU FEU	FER	CHAUX	SILICE	ALUMINE
Boudonville	15,10	35,50	5,00	17,08	7,05
Val-de-Fer	15,62	35,97	8,90	14,60	8,25
Amance	18,97	33,22	12,05	9,70	8,78

Les minerais de la concession de Frouard utilisés par les forges situées dans la même localité ont la composition suivante :

Fer.. 36; Chaux.. 7; Silice.. 13 à 14; Alumine.. 8 à 8,50

En remontant aussi loin que possible dans les recherches relatives à l'obtention de cette concession, les exploitants n'ont pu nous citer qu'un seul cas où la teneur en alumine ait été trouvée supérieure à 10 p. 100. Il s'agit d'un petit banc de 0^m,10 de la couche inférieure (qu'on n'exploite d'ailleurs en aucune façon) qui aurait fourni, à l'analyse, alumine : 11,50 p. 100.

Les exploitants de la mine de Chavigny sont également convaincus que des teneurs en alumine aussi élevées que celles dont il vient d'être fait mention ne peuvent se rencontrer que dans des couches de mauvaise qualité et inutilisables.

C'est encore dans la couche inférieure, très marneuse, qu'on a trouvé le maximum d'alumine, 10,77 p. 100.

(Il est d'ailleurs prudent de ne pas trop se fier aux dosages d'alumine, qui se font, comme on sait, par différence, dans la plupart des laboratoires.)

On peut voir, par les analyses détaillées reproduites ci-dessous, que les teneurs en alumine des minerais de Landres qui peuvent être considérés comme types d'excellents produits restent comprises dans des limites bien plus faibles.

FONDAGES	FER	CHAUX	SILICE	ALUMINE
CE	41,91	9,23	5,38	5,94
CH	41,43	12,02	6,02	5,29
CQ	33,62	15,02	7,78	5,67

SONDAGES	FER	CHAUX	SILICE	ALUMINE
CS	38,08	15,40	5,83	5,32
CT	37,33	12,42	5,82	5,14
DA	32,96	14,93	6,33	6,03
DB	31,80	18,32	6,12	4,29
DG	40,21	10,66	5,66	5,63
DH	39,78	12,67	5,60	4,61
DP	35,93	13,97	7,03	4,44

Dans le sondage DG, la couche grise se compose de bancs de mine riche et de bancs calcaires. Leur analyse séparée a donné les résultats suivants :

1° Minerai riche à fines oolithes (partie supérieure de la couche) :

Fer... 40,18; Chaux.. 10,78; Silice.. 4,76; Alumine.. 5,37

2° Minerai calcaire à grosses oolithes (partie médiane de la couche) :

Fer... 31,69; Chaux.. 19,14; Silice.. 6,54; Alumine.. 3,57

3° Minerai calcaire à fines oolithes (partie inférieure de la couche) :

Fer.. 27,30; Chaux.. 20,87; Silice.. 7,54; Alumine.. 4,22

Il semble qu'on puisse conclure de là que, dans les minerais purs de première zone, l'alumine est représentée d'une façon à peu près constante par une proportion variant de 4 à 6 p. 100 (*).

(*) En se reportant à l'analyse du banc de richesse exceptionnelle rencontré au sondage DH de Joudreville (p. 88), le lecteur s'assurera facilement que l'alumine ne s'y rencontre que dans une proportion comprise dans les mêmes limites.

Dans les minerais moins purs, c'est-à-dire mélangés d'une quantité plus ou moins considérable de sédiments argilo-calcaires, la proportion s'élève un peu pour rester comprise entre 7 et 9 p. 100. En particulier, aucune des analyses publiées au sujet des couches du Luxembourg n'indique de proportions supérieures à cette teneur.

M. Bleicher avait formulé autrefois une théorie qui reposait sur le pouvoir fixateur de la silice et de l'alumine en présence du fer.

M. Bleicher résumait comme suit les principes de cette théorie.

Les conditions favorables à la formation du minerai oolithique sont : la présence simultanée, en un point : 1° de fer dissous ou à l'état de suspension ; 2° de silice et d'alumine. C'est par le jeu combiné de ces trois éléments, que l'eau de mer pouvait contenir en proportion variable, que le dépôt a pu s'effectuer. Il est possible que les choses se soient passées ainsi : sur certaines surfaces des fonds de mer en forme de cuvettes peu profondes, se sont accumulées des vases fortement siliceuses et un peu alumineuses qui ont *fixé*, au fur et à mesure, le fer des eaux qui passaient au-dessus ou au milieu d'elles. Il n'est pas nécessaire d'admettre que la proportion de fer entraînée par les eaux soit très considérable ; elle devait cependant l'être plus que dans les eaux de mer normales, mais pas assez forte pour gêner la vie animale.

L'alumine et la silice à l'état gélatineux fixent très bien, l'alumine surtout, le fer des solutions ferrugineuses et les éclaircissent rapidement par précipitation de l'oxyde de fer.

La silice et l'alumine auraient peu à peu englobé dans un réseau tout le « fer qui se présentait, et plus tard « seulement, dans cette sorte d'écume demi-solide, ferrugineuse et siliceuse, les oolithes se seraient formées « par condensation de silice, de fer, d'alumine, en couches

« concentriques autour d'un centre d'attraction, grain de « sable ou débris organiques. Les oolithes résultent, en « effet, d'une sorte de condensation, de concentration du « fer dans la masse silico-ferrugineuse (*) ».

D'après la théorie récente de M. Stanislas Meunier, le rôle fixateur de l'alumine interviendrait aussi, mais non plus à l'époque même où se déposaient les couches ; ce serait postérieurement, par métasomatose lente, que des formations, primitivement calcaires, se seraient transformées en limonite.

La théorie métasomatique, qui est très en honneur en Allemagne, repose sur des observations qui sont sans doute fondées, et qui peuvent donner dans différents cas particuliers la clef de certains phénomènes. Dans le cas spécial des minerais de la Lorraine, elle fournit l'explication de la ferruginisation de fragments de roches primitivement stériles et de restes fossiles d'origine animale ou végétale. Mais il ne nous paraît pas possible de la mettre en cause pour expliquer la formation des couches oolithiques elles-mêmes.

Étant donné le rôle protecteur que joue, par rapport à la formation ferrugineuse, au point de vue de la pénétration des eaux, la puissante assise des marnes micacées qui la recouvrent, il faudrait admettre, pour justifier la genèse des minerais par métasomatose, que les eaux ferruginisantes sont descendues de la surface par des cassures ou failles interrompant la continuité du banc imperméable.

Les failles que nous qualifions de nourricières auraient fourni, en particulier, des voies de pénétrations de ce genre. Le fer qu'elles auraient véhiculé leur aurait été fourni par la destruction des assises de l'oolithe moyenne,

(*) *Le Minerai de fer de Meurthe-et-Moselle*, par M. Bleicher (*Bulletin de la Société industrielle de l'Est*, 1894).

l'oxfordien notamment, peut-être aussi le corallien, qui recouvraient autrefois le gisement.

Dès le principe, on est arrêté par l'immense quantité de terrain détruit qu'il faudrait admettre pour engendrer l'énorme masse de fer rassemblée aujourd'hui dans l'étage toarcien.

Mais une autre objection est plus grave. Si la minéralisation s'était faite *per descensum*, elle aurait surtout porté sur les calcaires du bajocien inférieur, puisque les eaux d'infiltration s'y rassemblent fatalement au-dessus des marnes micacées. De fait, les calcaires de l'infra-bajocien sont très ocreux, et quelques explorateurs inexpérimentés les ont quelquefois confondus avec des horizons du minerai de fer.

En admettant même que la minéralisation ait dû se localiser, pour une raison ou pour une autre, dans le toarcien, comment expliquer que certains horizons superposés soient seuls riches en fer, tandis que d'autres, de nature calcaire cependant, n'aient pas été ferruginisés? que, dans une même couche, on rencontre des bancs calcaires pauvres à côté d'autres constitués presque uniquement d'oolithes riches?

En particulier, il est frappant de trouver, au toit de la couche grise, dans une notable portion du gisement, — dans le bassin de Landres, surtout, — un banc de calcaire blanchâtre grossier, lumachellique très souvent, extrêmement pauvre en fer.

Ce banc, qui a fréquemment de 0^m,40 à 0^m,50 d'épaisseur et se trouve régulièrement superposé à la couche grise, montre une accumulation de coquillages qui fait un contraste frappant avec la couche, complètement dépourvue de fossiles.

Dans le voisinage des points d'émergence de l'élément ferrugineux, on remarque, en effet, que non seulement les produits ont une couleur et une texture spé-

ciales, mais encore qu'ils sont entièrement privés de restes organiques, tandis que ceux-ci apparaissent très nombreux au toit de la couche; les êtres vivants ne pouvaient sans doute revenir habiter les eaux de la mer que lorsqu'elles avaient repris leur régime normal.

Dans les couches riches, c'est donc loin des émergences que se trouvent les fossiles, et bien souvent les apports de la sédimentation s'y reconnaissent par des placages de marne mélangés au minerai. D'une façon générale, on peut dire que, lorsqu'une couche est très fossilifère, elle annonce l'approche de la zone pauvre, celle que nous avons appelée la troisième zone, où la sédimentation ordinaire l'emporte sur le flux ferrugineux.

En résumé, les minerais les plus riches ne correspondent nullement à des teneurs en alumine élevées, et il n'est pas rare de trouver des minerais à 40 p. 100 de fer n'ayant que 5 p. 100 d'alumine.

§ 2. — CARBONATES CONTENUS DANS LE MINÉRAI.

La remise en circulation du fer s'est faite fréquemment grâce à l'action dissolvante de l'acide carbonique, soit que celui-ci ait été amené par les eaux météoriques, soit qu'il ait été produit par des décompositions organiques.

On trouve, dans des horizons pauvres de la formation ferrugineuse de Lorraine, notamment dans des bancs de calcaires coquilliers, d'assez gros grains de limonite qui n'ont pas d'autre origine. Cette reprise par l'acide carbonique produit un enrichissement et une purification du minerai corrélatif de l'élimination partielle de la silice, de la chaux et de l'acide phosphorique. C'est pourquoi les minerais formés au détriment des couches toarciennes, par des redissolutions successives, sont de plus en plus purs.

Le minéral de fer fort, qu'on trouve superposé dans les dépôts diluviens de la Lorraine, au-dessus du gisement toarcien, provient très probablement de la destruction d'assises éocènes ferrugineuses, qui n'auraient dû elles-mêmes leur fer qu'à des reprises exercées sur les affleurements des couches toarciennes.

Les dépôts de minerais de l'oxfordien et ceux des sables verts, qu'on a exploités autrefois dans les départements de la Meuse et des Ardennes, devaient avoir une origine analogue à celle de ces formations tertiaires disparues.

Il s'est formé aussi à leurs dépens, dans les Ardennes, des minerais d'âge récent que l'on recherchait beaucoup autrefois à cause de leur pureté.

On les trouvait généralement dans des crevasses du terrain jurassique, et leur structure bacillaire leur avait fait donner communément le nom de « minerais à clous » ; chaque baguette était formée de couches concentriques, et très souvent l'axe offrait un vide semblable à celui qui résulterait d'une épingle fine insinuée dans la masse. C'était, en somme, une formation de stalactite, dans laquelle, au lieu de carbonate de chaux, il s'agissait de carbonate de fer.

La formation des stalactites de limonite suppose un apport continu et très faible de carbonate de fer, se transformant, au fur et à mesure de son arrivée, en oxyde. En opposition avec ces conditions, on peut concevoir, d'une part, que l'apport ferrugineux ait été abondant et, d'autre part, que le milieu où se faisait le dépôt n'ait pas été favorable aux actions d'oxydation ; dans ce cas, on ne devrait pas être surpris de rencontrer des amas de carbonate de fer.

S'il existe de tels amas dans les gisements de la Lorraine, ils doivent être extrêmement rares, car les auteurs n'en ont pas signalé jusqu'ici. Ils ne pourraient

se trouver que dans des fentes ou des cavités dans lesquelles des eaux carbonatées seraient venues les déposer, sans les exposer aux agents d'oxydation.

C'est d'une façon analogue que se seraient formés des amas de pyrite de fer qu'on a découverts en quelques points du gisement lorrain. Dans ce cas, ce ne serait plus l'acide carbonique qui aurait été l'agent de reprise, mais l'acide sulfurique. Ce dernier dériverait directement de l'altération des pyrites contenues dans la partie inférieure de la formation (couche verte notamment).

La présence de ces pyrites constitue un caractère constant de la base de la formation, à tel point que les recherches dirigées avec soin n'ont jamais été considérées comme ayant atteint leur but que lorsqu'elles pénétraient dans cet horizon pyriteux.

Le dépôt de ces minerais mélangés de pyrite n'a pu se faire que dans un milieu où il y avait lutte entre les actions oxydantes et les actions réductrices. Il n'y aurait rien d'étonnant *a priori* qu'il ait pu subsister, dans ces conditions, du carbonate non décomposé dans les couches à la fois les plus anciennes et les plus pyriteuses.

Des recherches toutes récentes effectuées par M. Blum, d'Esch-sur-Alzette (*Stahl und Eisen*, 1901, n° 23), ont démontré qu'il en est bien ainsi. Les principaux résultats trouvés par M. Blum peuvent se résumer comme suit :

La proportion de protoxyde de fer dans les minerais croît avec l'ancienneté de la couche. Dans des minerais provenant de la minière de Hœhl (Luxembourg), la proportion du protoxyde de fer pour cent de minéral croît ainsi qu'il suit :

Dans la couche rouge.....	0,93	p. 100
— grise	1,01	—
— brune	8,06	—
— noire	14,38	—

En dosant spécialement l'acide carbonique et le protoxyde de fer dans les trois minerais dont les analyses sont reproduites ci-après, M. Blum arrive, en combinant de la façon qui lui paraît la plus vraisemblable les acides et les bases en présence, à conclure que le carbonate de fer figure dans la proportion de 15,35 p. 100, de 26,99 p. 100 et de 60,23 p. 100 respectivement dans les échantillons *a, b, c*, savoir :

	<i>a</i> Mine noire d'Algrange.		
	<i>b</i> — de Differdange.		
	<i>c</i> — de la mine Friede.		
	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>
Silice	7,39	14,02	6,98
Peroxyde de fer.....	31,29	4,93	10,31
Protoxyde de fer.....	33,54	34,27	37,36
Alumine.....	4,80	5,43	3,77
Chaux.....	6,04	6,86	4,08
Magnésie.....	1,22	2,83	2,16
Oxyde de manganèse.....	0,46	0,74	0,79
Acide phosphorique.....	1,88	4,72	1,95
Acide carbonique.....	10,22	18,75	26,69
Soufre	»	4,73	»

Déjà, en 1828, Berthier signalait, dans les *Annales des Mines*, la présence du carbonate de fer dans le minerai d'une couche inférieure d'Hayange.

M. Blum a conclu de ses recherches que le fer du gisement lorrain provenait d'une série de décompositions dont les pyrites des schistes à posidonies du lias supérieur seraient le point de départ. C'est une variante de la théorie du charriage, dont plusieurs auteurs restent partisans. Nous avons montré qu'elle ne permettait pas d'expliquer la pauvreté du gisement aux affleurements, ni la dissémination, en des points plus ou moins éloignés du littoral, de lentilles riches placées à proximité des failles. Nous ne pouvons donc pas suivre M. Blum dans toutes les conséquences qu'il tire de ses analyses, mais il n'en

faut pas moins lui savoir grand gré d'avoir procédé à des dosages d'acide carbonique sur les minerais. Les maîtres de forges ont trop négligé jusqu'à ce jour de doser cet élément; ils se contentaient d'évaluer en bloc la perte au feu, ce qui est beaucoup trop sommaire.

Il reste d'ailleurs beaucoup de problèmes intéressants à résoudre pour un chimiste qui voudrait étudier en détail la composition intime des minerais oolithiques.

Dans le chapitre suivant, nous ne faisons qu'esquisser la solution d'une des questions qui pourraient rentrer dans une étude de ce genre, savoir : la nature des phosphates contenus dans le minerai de la Lorraine.

CHAPITRE VIII.

LE PHOSPHORE DANS LES MINÉRAIS OOLITHIQUES DE LORRAINE.

On a cru longtemps que le phosphore des minerais oolithiques de la Lorraine avait une origine organique, et qu'il provenait principalement des fossiles contenus dans les couches. Cette opinion ne peut plus se soutenir aujourd'hui, en présence des nombreuses analyses décelant le phosphore dans des échantillons absolument dépourvus de fossiles.

D'une façon générale, on peut dire que le phosphore est représenté dans les minerais oolithiques passés aux hauts-fourneaux par une teneur sensiblement constante.

Un lit de fusion, composé à 30 p. 100 de fer, contient 2 unités de phosphore environ p. 100 de fer, et comme, dans la fonte Thomas, le fer n'est représenté que par la proportion de 90 p. 100 approximativement, le phosphore

contenu dans les fontes de Lorraine ne s'élève lui-même qu'à 1,80 p. 100.

Cette proportion est, d'ailleurs, convenable pour l'affinage en première fusion au convertisseur basique. Quand on opère en seconde fusion, on cherche à forcer la dose de phosphore, pour compenser la légère perte que donne le passage au cubilot et surtout pour produire un dégagement de chaleur plus intense lors du sursoufflage. On y parvient en introduisant dans le haut-fourneau soit des castines phosphatées, soit des scories de puddlage phosphoreuses ou de fours Martin basiques, soit enfin des déchets de moutures de scories de déphosphoration.

On arrive ainsi à produire des fontes à 2,2 p. 100 de phosphore.

La dissémination régulière du phosphore dans les minerais oolithiques est certainement une des raisons du succès qu'ils ont obtenu dans la métallurgie de l'acier. Il fait vraiment partie de leur constitution même; aussi son dosage dans les lits de fusion n'est-il jamais nécessaire; il est le corollaire obligé de la teneur en fer.

Dans les minerais de Suède, ceux de Kiirunavaara, par exemple, il n'en est pas de même; le phosphore s'y trouve distribué d'une façon parasitaire, à l'état d'apatite, en proportion très variable.

On est obligé, dans l'exploitation, de faire des triages assez délicats pour composer des produits à teneurs en phosphore limitées.

C'est ainsi qu'on livre aux hauts-fourneaux des produits:

1° Très peu phosphoreux à 70 p. 100 de fer et 0,01 à 0,03 de phosphore;

2° Moyennement phosphoreux à 68 p. 100 de fer et 0,05 à 1 p. 100 de Ph;

3° Très phosphoreux à 67 p. 100 de fer et 1 à 2,5 p. 100 de Ph;

4° Extrêmement phosphoreux, depuis 2,5 jusqu'à 6 p. 100 de Ph.

On conçoit que l'emploi de ces produits à teneur très variable soit de nature à donner des fontes moins régulières que celles de Lorraine, où le chimiste du haut-fourneau peut se désintéresser complètement du dosage du phosphore.

Les minerais oolithiques contiennent ce métalloïde à la fois sous forme de phosphate de chaux et de phosphate de fer. En valeur absolue, la quantité de phosphore contenue dans un minerai varie comme sa teneur en fer, ce qui suppose nécessairement qu'il existe une combinaison de l'acide phosphorique avec le fer.

Si l'on considère, par contre, un minerai très pauvre et très calcaire, il entre dans le lit de fusion une quantité considérable de phosphate de chaux qui s'ajoute au phosphate de fer. Le rapport du phosphore à 100 de fer n'est plus 2, comme nous le disions tout à l'heure lorsqu'il s'agissait d'un lit de fusion à 30 p. 100 de fer, mais un nombre plus élevé.

Le tableau suivant, dans lequel la teneur du phosphore, rapportée à 100 de fer, est mise en évidence, montre, en effet, que l'on obtient les rapports les plus élevés, 3 et 4 p. 100, pour des minerais à 18 et 16 de fer; et les plus faibles, soit 1,9 p. 100, pour les produits riches à 41 p. 100.

MINÉRAIS DU LUXEMBOURG.

	CaO	FER	PHOSPHORE	RAPPORT du phosphore à 100 de fer
<i>1^{er} Bassin de Rumelange-Dudelange</i>				
Couche grise.....	16,34	33,24	0,80	2,4
Couche jaune.....	15,60	36,03	0,85	2,3
Couche rouge triée.....	7,68	40,67	0,99	2,4
Rognons de mine rouge.....	36,04	16,13	0,58	4,4
Couche siliceuse.....	4,93	27,63	0,72	2,5
<i>2^{er} Bassin d'Esch</i>				
Couche noire.....	6,44	39,49	1,00	2,5
Couche brune.....	4,10	41,06	0,88	2,1
Couche grise.....	18,05	30,84	0,67	2,1
Couche rouge triée.....	7,40	40,98	0,77	1,9
Rognons de mine rouge.....	23,85	22,88	0,67	2,9
Couche siliceuse.....	4,93	27,63	0,72	2,6
<i>3^{er} Bassin de Differdange</i>				
Couche noire.....	5,30	39,20	0,81	2,1
Couche grise.....	5,20	40,10	0,83	2,1
Couche rouge.....	6,94	37,71	0,80	2,1
Couche cal- mine fine.....	6,32	41,40	0,79	1,9
careuse } calcaire.....	33,32	18,17	0,53	3,0

Les minerais du bassin de Landres conduisent aux mêmes conclusions. Exemple : les sondages DG et CE, dont les résultats sont condensés ci-après.

SONDAGE DE LANDRES (DG).

CALCAIRE COQUILLIER toit de la couche grise hauteur 0 ^m ,50	CAROTTES	CHAUX	FER	PHOSPHORE	RAPPORT du phosphore à 100 de fer
	32	35,38	17,16	0,60	3,5
<i>Couche grise de la profondeur 211^m,05 à 217^m,70... ou de la cote 114^m,80 à 104^m,56.....</i>					
Épaisseur : 6 ^m ,65.....	34	9,47	41,98	0,89	2,12
	35	9,20	42,68	0,73	1,70
	36	6,48	46,04	0,81	1,76
	37	6,51	45,12	0,65	1,44
	38	9,55	40,93	0,89	2,18
	39	8,92	41,29	0,82	2,00
	40	10,78	38,04	0,78	2,05
	41	17,45	30,97	0,76	2,45
MOYENNE.....		10,66	40,21	0,78	1,95
<i>Couche brune 2 mètres</i>					
MOYENNE.....		6,84	24,21	0,67	2,80

SONDAGE DE PIENNE (CE).

	CHAUX	FER	PHOSPHORE	RAPPORT du phosphore à 100 de fer
<i>Couche rouge</i>				
Carottes 17 et 18.....	20,29	23,75	0,61	2,53

	CAROTTES	CHAUX	FE	PHOSPHORE	RAPPORT du phosphore à 100 de fer
<i>Couche grise</i> de la profon- deur.....	31	5,18	45,15	0,95	2,12
207,27 à 212,95.....	32	9,56	42,39	1 »	2,38
ou bien de la cote	33	10 »	41,71	0,97	2,30
92,13 à 86,45.....	34	8,49	43,53	0,95	2,16
Epaisseur : 5 ^m ,68.....	25	6,24	45,36	0,86	1,91
	36	13,65	37,26	0,68	1,84
	37	12,44	38,34	0,81	2,13
	38	9,70	40,09	0,89	2,22
MOYENNE.....		9,23	41,94	0,89	2,12

Si on compare les résultats de ce sondage à ceux du suivant, on constate qu'en valeur absolue la quantité de phosphore contenue dans le minéral est maximum dans le plus riche, mais que, néanmoins, la proportion moyenne est très peu différente.

SONDAGE DE BOULIGNY (CQ).

	CAROTTES	CHAUX	FER	PHOSPHORE	RAPPORT du phosphore à 100 de fer
<i>Couche grise de la profondeur</i>	38	12,93	32,20	0,74	2,3
227,50 à 233,75.....	39	15,42	35,10	0,85	2,4
ou de la cote	40	13,10	37,76	0,87	2,3
54,71 à 48,46.....	42	15,41	36,05	0,75	2,1
Épaisseur : 6 ^m ,25.....	43	18,87	32,03	0,69	2,15
	44	11,14	35,58	0,78	2,05
	45	13,47	32,38	0,71	2,2
	46	14,39	33,60	0,78	2,3
	47	13,32	34,80	0,64	1,82
	48	19,03	28,47	0,60	2,15
MOYENNE.....		15,02	33,62	0,73	2,15

On arrive au même résultat si on prend, au lieu du sondage CQ, le sondage DB. L'analyse moyenne de ce dernier donne, en effet :

CHAUX	FER	PHOSPHORE	RAPPORT DU PHOSPHORE à 100 de fer
18,32	31,80	0,69	2,16

Cette constance du rapport de 2 p. 100 environ, pour les produits à teneur de 30 p. 100 et au-dessus, s'observe encore même dans un minéral de troisième zone, comme celui du sondage EB, de Bouvigny, qui a donné :

SONDAGE DE BOUVIGNY (EB).

	CAROTTES	CHAUX	FER	PHOSPHORE	RAPPORT du phosphore à 100 de fer
<i>Couche grise de la profondeur</i>	25	4,81	29,96	0,59	1,96
217,75 à 219,90.....	26	5,01	30,52	0,55	1,8
ou de la cote	banc de marne non analysé de 0 ^m ,15				
27,21 à 25,06.....	27	7,20	14,52	0,50	3,4
Épaisseur : 2 ^m ,15.....					
MOYENNE.....		5,60	25,54	0,54	2,1

Enfin l'analyse d'une couche brune très pauvre, rencontrée au sondage BW, confirme ce qui a été dit précédemment au sujet de la diminution en valeur absolue du phosphore dans les minerais pauvres et de l'augmentation du pourcentage rapporté au fer :

SONDAGE D'AMERMONT (BW).

Couche brune inutilisable (située en dessous de la couche grise de 7^m,21, d'excellente qualité, dont il a été question précédemment).

	CAROTTES	CHAUX	FER	PHOSPHORE	RAPPORT du phosphore à 100 de fer
De la profondeur.....	90	13,28	13,49	0,460	3,54
231,42 à 233,91.....	91	8,48	19,60	0,483	2,40
ou bien de la cote	92	11,08	17,83	0,366	2,05
27,19 à 24,70.....	93	14,60	15,26	0,433	2,88
Épaisseur : 2 ^m ,49.....	94	14,08	14,14	0,455	3,21
	95	20,68	16,10	0,433	2,70
	96	11,68	19,99	0,455	2,25

L'accumulation des coquillages dans un banc de la formation ne correspond nullement à une élévation de la teneur en phosphore. Témoin cette analyse que M. Mil-lery, chef des laboratoires de l'usine de Jarville, a bien voulu faire sur notre demande, sur le banc coquillier formant le toit de la couche grise du sondage CS de Bouvillers.

SILICE	CHAUX	FER	PHOSPHORE	RAPPORT DU PHOSPHORE à 100 de fer
2,02	47,22	7,16	0,24	3,35

Scories de déphosphoration. — Malgré la constance de la quantité de phosphore qui passe dans les fontes de Lorraine, avec les rendements ordinaires, qui peuvent varier de 28 à 33 p. 100, il ne faudrait pas en conclure que la quantité et la richesse des scories de déphosphoration obtenues par tonne de lingot fabriqué sont constantes. Elles varient avec les autres éléments composants de la fonte et notamment avec le silicium.

La teneur minima des fontes Thomas en phosphore ne doit pas descendre en dessous de 1,70 p. 100. Si elle était plus faible, les opérations manqueraient de chaleur; d'autre part, une teneur trop élevée obligerait à des additions de chaux excessives et augmenterait le déchet dans une forte proportion.

Quant au silicium on cherche, en pratique, à le maintenir dans la proportion de 0,30 à 0,80 p. 100.

Plus il y a de silicium, moins il est nécessaire d'avoir de phosphore pour mener à bonne fin l'affinage, mais aussi plus il y a de scorie et moins celle-ci est riche en phosphore.

La composition moyenne des scories d'une aciérie de Meurthe-et-Moselle est, à titre d'exemple, la suivante :

Acide phosphorique.....	16,19
Chaux.....	47,63
Magnésie.....	3,75
Oxyde de fer.....	11,35
Oxyde de manganèse.....	6,46
Alumine.....	7,60
Silice.....	7,00
TOTAL.....	100,00

Au cours de 0 fr. 215 l'unité d'acide phosphorique total (produit moulu, en sacs, toiles perdues), la tonne de scories vaudrait donc 34 fr. 80.

Les frais de mouture, de criblage et de mise en sacs s'élevant environ à 10 francs par tonne, le maître de forges retirerait finalement un bénéfice de 25 francs par tonne de scories vendues.

A une tonne de fonte Thomas correspond, en moyenne, une production de 220 kilogrammes de scorie; si le minerai employé donne un rendement au lit de fusion de 30 p. 100, on voit que 1.000 kilogrammes de scories exigent une consommation de $\frac{3.333}{220} \times 1.000$ de minerai, ou 15 tonnes en nombre rond.

Le bénéfice de 25 francs rapporté à la quantité de minerai consommé donne donc un produit net de 1 fr. 66 par tonne. Or, dans certains cas, le prix de revient du minerai se tient dans des limites voisines de ce chiffre. On a donc pu dire que la vente des scories suffisait parfois à payer, dans les usines lorraines, le minerai consommé.

Le Gouvernement du grand-duché de Luxembourg, depuis l'année 1898, insère, dans les actes de concession de mines, une clause telle que la suivante, destinée à procurer à l'agriculture des avantages spéciaux au point de vue de l'emploi des scories phosphatées.

CONVENTION DU 5 MAI 1898, APPROUVÉE PAR LA LOI DU 6 JUIN 1898, AU SUJET D'UNE CONCESSION MINIÈRE DE 141 HECTARES ACCORDÉE À LA SOCIÉTÉ DES HAUTS-FOURNEAUX ET FORGES DE DEDELANGE.

ART. 8. — Pendant cinquante ans à partir de l'entrée en vigueur de la présente, la Société concessionnaire mettra annuellement à la disposition de l'État 200 wagons de scories Thomas brutes de bonne qualité loyale et marchande, telles que l'aciérie les produit, prises à l'usine, à raison de 100 francs par wagon (10 tonnes) et au prix du jour, si celui-ci était inférieur à 100 francs, sans

que, dans l'un et l'autre cas, il existe une obligation pour l'État de prendre annuellement ce nombre de wagons.

A partir du 1^{er} janvier 1908 jusqu'au 31 décembre 1947, la Société concessionnaire s'engage à fournir, en outre, annuellement, à l'État, 800 autres wagons de scories Thomas brutes de bonne qualité loyale et marchande, telles que l'aciérie les produit, au prix du jour à fixer d'un commun accord.

En cas de désaccord, le prix sera fixé dans les deux cas dont s'agit ci-dessus par trois experts, dont un à nommer par la Société, un par l'État et le troisième par le président du tribunal d'arrondissement de Luxembourg.

CHAPITRE IX.

RÉSUMÉ ET CONCLUSIONS.

Un grand nombre de géologues semblent avoir, à notre époque, une répugnance très marquée à admettre les phénomènes éruptifs pour expliquer la formation des minerais de fer.

Sans doute, un très grand nombre de gisements se sont constitués par voie d'enrichissement de formation primitivement pauvres en fer.

Le mécanisme qui préside à cette transformation est très souvent celui-ci : des eaux chargées d'acide carbonique désagrègent des couches pauvres, et opèrent la séparation du fer et de la chaux. L'oxyde de fer qui résulte de la décomposition du carbonate s'accumule dans les points où cette réaction est spécialement facilitée, pendant que le carbonate de chaux est entraîné ailleurs. L'argile et la silice, au contraire, résistant aux actions de dissolution, forment un résidu qui peut s'accumuler aux mêmes points que l'oxyde de fer.

Les minerais en grains, qu'on a exploités par amas ou par poches dans un grand nombre de pays, ont dû se former par ce procédé.

On peut admettre aussi, comme M. Camusat le propose pour le gîte de Mazenay, que des variations du niveau hydrostatique d'une nappe d'eau souterraine logée dans une formation calcaire légèrement ferrugineuse, opèrent à la longue une sélection du même genre, et parviennent à constituer à un certain niveau un véritable minéral.

La genèse des minerais de fer par décalcification et par métasomatose est donc incontestable. Il en est de même de la formation par érosion et transport.

On retrouve, dans le gisement lorrain, des manifestations qui se rattachent certainement à ces divers procédés(*); mais ils n'ont dû jouer qu'un rôle accessoire et n'ont fait que se greffer, pour ainsi dire, sur le phénomène principal des émissions thermales sous-marines.

La superposition de plusieurs couches en un même point et la concentration des minerais dans des bassins distincts (bassin de Briey, bassin de Nancy, bassin de Franche-Comté), distribués sur la ligne de l'ancien rivage de la mer toarcienne, découlent aisément de la théorie geysérienne.

Les émissions sous-marines ne jouent-elles pas, d'ailleurs, de nos jours, un grand rôle dans la formation des sédiments de certains océans? Sur la plus grande partie des rivages du Pacifique, les éruptions volcaniques ne se comptent plus. On a constaté, au cours même du XIX^e siècle, que certaines d'entre elles avaient amené au jour des

(*) M. Emile Picard formule en termes excellents, *in fine* de son rapport sur les sciences (Rapport du Jury international de l'Exposition de 1900. Introduction générale, 2^e partie, *Sciences*, p. 113), les remarques suivantes, en manière de conclusion : « Les images par lesquelles nous cherchons à nous représenter les phénomènes du monde extérieur ne doivent jamais être regardées comme ayant un caractère définitif; de plus, elles ne sont pas nécessairement uniques, ce qui peut permettre à plusieurs théories de se développer simultanément. Ce sont les théories qui constituent véritablement la science. Sans elles, il n'y a que des catalogues de faits. »

milliards de mètres cubes de produits d'origine interne.

Quelle raison empêcherait d'admettre que les sédiments toarciens ont été enrichis dans les régions métallifères de la Lorraine et de la Franche-Comté par le même procédé?

Puisant le métal dans la profondeur, à l'aplomb même des lieux de dépôts, les émissions thermales pouvaient en amener facilement des quantités très grandes sur des étendues limitées.

La théorie éruptive s'accorde très bien avec la nature sulfureuse de la couche la plus ancienne et avec la présence d'autres sulfures métalliques (blende, galène) trouvés accidentellement dans le minerai.

Elle est, par ailleurs, complètement indépendante de la position du rivage de la mer, tandis que la formation par charriage suppose un dépôt essentiellement littoral, ce qui n'est pas.

Les zones de richesse situées, par rapport aux failles nourricières, dans les régions synclinales qui les avoisinent, la localisation de ces zones dans divers étages superposés de la formation auprès de quelques failles, la distribution des rognons calcaires sur la périphérie des régions exploitables, sont autant de faits qui découlent nécessairement de la théorie des failles nourricières; il en est de même de l'absence de fossiles et des variations de textures et de couleur des minerais constatées dans le voisinage de celles-ci.

La concordance de toutes ces preuves nous donne l'espoir que la systématisation que nous avons essayé de faire de la répartition des zones exploitables dans la Pl. V de ce mémoire repose sur une base plausible.

Les délimitations tracées sur cette planche sont, certes, encore incomplètes; mais il sera, sans doute, possible, dans l'avenir, quand on aura réuni de nouvelles observations sur la consistance des couches, de les rendre définitives.

Telles qu'elles sont, elles suffiront, pensons-nous, pour évaluer dès maintenant, avec une assez grande approximation, l'importance et la qualité des ressources qu'on pourrait retirer de l'exploitation des différentes zones actuellement concédées.