

LE GISEMENT DE FER DE ROUGÉ (LOIRE ATLANTIQUE)

par BERNARD CLERCX (**)

4 figures dans le texte

RÉSUMÉ

Le gisement de fer de Rougé est constitué par une accumulation superficielle de limonite épaisse au maximum d'une dizaine de mètres. Il recouvre un substratum fait de schistes et grès Ordoviciens, dans lesquels sont interstratifiés des couches de minerai de fer.

Ces dernières ont été considérées comme la source du fer contenu dans le gisement limonitique. Mais on montre que cette hypothèse n'est pas en accord avec la répartition géographique de la minéralisation.

Le minerai de Rougé et des gisements voisins est constitué en surface de nodules de goethite dans une matrice argileuse ou sableuse. En profondeur les nodules augmentent de taille et passent à des blocs allongés dans une direction subhorizontale. En dessous encore, on trouve le substratum plus ou moins altéré, avec la goethite remplissant les fissures.

La zone des nodules, qui à elle seule n'est pas exploitable, possède une grande extension géographique. La zone des blocs est d'extension beaucoup plus restreinte.

Le gisement de Rougé est attribué à des phénomènes de latérisation impliquant une accumulation absolue du fer aussi bien qu'une accumulation relative.

ABSTRACT

The Iron Deposit at Rougé (Loire Atlantique)

The iron deposit at Rougé is made of a superficial layer of limonite whose thickness reaches about ten meters. The bedrock is made of schists and sandstones belonging to the Ordovician system; these contain beds of sedimentary iron ore.

The latter was formerly considered the source of the iron contained in the superficial limonite layer. But it is shown that this hypothesis is not in agreement with the geographic distribution of the limonite ore bodies.

The iron ore of Rougé and nearby deposits consists at the top of goethite nodules in a clayey or sandy matrix. In depth the size of these nodules increase until they give way to elongated blocks, lying more or less horizontally. Below these blocks, the bedrock is found, more or less weathered, with goethite filling the fissures.

The upper zone, with nodules, is extensive but never minable. The middle zone is much more narrowly localized.

The Rougé deposit is due to some kind of lateritic alteration, the concentration being due in part to removal of elements other than iron, and in part to supply of iron from some external source.

(*) Communication faite à la séance du 3 mars 1970. Manuscrit déposé le 12 mars 1970.

(**) En Féronstrée 2, 4000 Liège.

I. INTRODUCTION

Dans la région de Châteaubriant (Loire Atlantique, France), la Société Minière et Industrielle de Rougé (S.M.I.R.) exploite des amas superficiels de minerais de fer. Ce minerai titre de 40 à 50 % de fer et 10 à 20 % de silice. Il est presque entièrement formé de goethite et est exploité en mine, car il forme une croûte superficielle de 8 à 10 m d'épaisseur dans les cas les plus favorables.

On a exploité aussi, dans la même région, du minerai interstratifié dans les grès de l'Ordovicien. C'est le minerai sédimentaire de Normandie et d'Anjou étudié par de nombreux auteurs dont Cayeux (1918) et Caillère (1965). Il est plus ou moins oolithique et, en Anjou, il est formé principalement de magnétite, d'hématite, de chlorite et d'un peu de sidérose avec plus ou moins de quartz.

Ces deux minerais se différencient donc tant par leur composition minéralogique que par leur structure et leur mode de gisement.

La présente étude portera sur le minerai superficiel appelé *minerai de mine*; le minerai sédimentaire sera appelé *minerai de couche* conformément à l'usage local.

La région à étudier chevauche les feuilles de la carte géologique au 1/80.000 de Redon (90) et de Château-Gonthier (91) où sont représentés les *Grès Armoricaux* attribués à l'Ordovicien inférieur. On trouvera à la figure 1 une échelle stratigraphique indiquant notamment la position des quatre couches de minerai (appelées A, B, C, et D dans l'ordre descendant) au sein de cette unité. La figure 2 donne la carte géologique de la région dressée à partir des feuilles 90 et 91 et comportant les modifications suggérées par notre travail de terrain.

Le problème de l'origine du minerai de mine, s'il n'a pas fait l'objet d'études détaillées, a néanmoins donné lieu à de nombreuses hypothèses que M. E. Raguin a rassemblées dans un travail à notre connaissance inédit (1955).

1. Les mines correspondent à l'affleurement des couches du minerai sédimentaire en particulier là où la tectonique détermine des plateaux au voisinage de la surface du sol.
2. Elles se rattachent au dépôt de grès ferrugineux qui accompagnent parfois les sables et argiles pliocènes et dont il reste des lambeaux dans la région.
3. Le minerai s'est formé à l'intervention de sources ferrugineuses d'origine profonde.
4. Les mines sont des concentrations de fer à partir des roches du substratum sous des conditions latéritiques (L. Cayeux, 1918).

Étude du minerai de mine

Le travail de terrain effectué a eu pour objet principal :

1. de reconnaître le substratum des mines,
2. de préciser la localisation et les conditions de gisement du minerai,
3. de rechercher les rapports éventuels entre la tectonique de la région et la formation du minerai.

Les échantillons prélevés tant des roches du substratum que du minerai ont été étudiés :

- I. Au microscope polarisant en lames minces et sections polies.
- II. Aux rayons X :
 - a. Des diagrammes de poudres furent pris sur films ou sur diffractogrammes

pour préciser la composition minéralogique des roches et du minerai, dont la granulométrie rendait difficile la détermination au microscope.

- b. Une étude des minéraux argileux contenus dans les roches, dans le minerai et dans les argiles fut effectuée par la méthode des agrégats orientés soumis au chauffage (490° C) et à la glycolation.

II. QUELQUES REMARQUES SUR LA STRATIGRAPHIE

Le Précambrien (Schistes de Rennes, notés X)

L'Algonkien est représenté par des schistes verdâtres ou bleuâtres en dalles fissiles avec de petites intercalations de grès. Ils affleurent dans la bande centrale de l'anticlinal de Châteaubriant entre Ruffigné et Saint-Aubin-des-Châteaux en beaucoup d'endroits où la carte géologique renseigne des formations pliocènes.

Au microscope, on peut estimer que la taille moyenne des grains est d'environ 30 à 40 microns. Les principaux constituants sont : la muscovite, une chlorite, le quartz. La roche possède une schistosité de fracture. De grandes fractures obliques à cette schistosité sont remplies de grands cristaux de quartz allongés perpendiculairement au bord de la fracture ou de grains de quartz et de muscovite englobés dans un ciment à base de goethite. Rayons X : un diffractogramme de poudre a donné la minéralogie suivante : muscovite, chlorite plus kaolinite, quartz.

Sous ces schistes et parfois à leur place, on trouve un poudingue à gros galets de quartz blanc; ce poudingue apparaît aussi dans l'anticlinal de Châteaubriant.

Le Cambrien

Le Cambrien est représenté par les *schistes pourprés* (*s^{1a}*) avec parfois à leur base un poudingue rouge à galets de quartz. Dans la région étudiée, cette formation n'apparaît que sur le bord nord de l'anticlinal de Châteaubriant, à l'est de Ruffigné où à la suite d'une variation de faciès ces schistes sont verdâtres.

L'Ordovicien inférieur

L'Ordovicien inférieur, noté *grès armoricain* (*S^{1b}*), se compose en réalité de 3 formations :

— *Les grès armoricains inférieurs.*

Ils contiennent à leur sommet les 4 couches A, B, C, D du minerai de fer sédimentaire exploité en Normandie, en Anjou et jusqu'à ces derniers temps dans la région même (Mines de Limèle).

La minéralogie des grès inférieurs est la suivante : quartz pour près de 90 %; muscovite et séricite; chlorite; tourmaline, zircon, rutile; goethite, pyrite, ilménite, graphite.

Les grains de quartz détritiques qui forment le grès ont une taille moyenne d'environ 100 microns avec un maximum de 200 microns, le classement des grains de la roche est excellent.

En ce qui concerne les minéraux des argiles, les proportions suivantes sont déduites des diagrammes de poudre : muscovite : 90 %; kaolinite : 10 %; chlorite : trace.

L'examen en lames minces et en sections polies du minerai ordovicien non altéré pris sur un stock (car il n'est plus possible d'atteindre les travaux du fond) montre qu'il est composé de magnétite et d'un peu d'hématite avec quelques cristaux d'ilménite. La pyrite, abondante par place, est associée à la gangue et montre

de curieuses structures en peigne. La gangue est composée de quartz et de chlorite parfois disposée en rosette; on observe aussi en bordure de la gangue des cristaux de graphite.

Dans le cadre de ce travail, il paraissait intéressant d'examiner la composition minéralogique du minerai altéré. Les échantillons furent pris sur les affleurements du minerai de couche. La gangue, dispersée dans le minerai est constituée de quartz et de chlorite; on n'observe plus de magnétite mais uniquement un mélange intime d'hématite et de goethite; dans certains cas, les cristaux n'ont plus qu'une bordure d'hématite, le centre étant épigénisé par la goethite; la pyrite est presque totalement épigénisée par la goethite; on retrouve l'ilménite et le graphite comme dans le minerai non altéré.

— *Les schistes intermédiaires.*

Ces schistes noir bleuâtre, mais souvent blanchâtres en surface, contiennent quelques intercalations gréseuses surtout à la base (fig. 1). Il est souvent malaisé

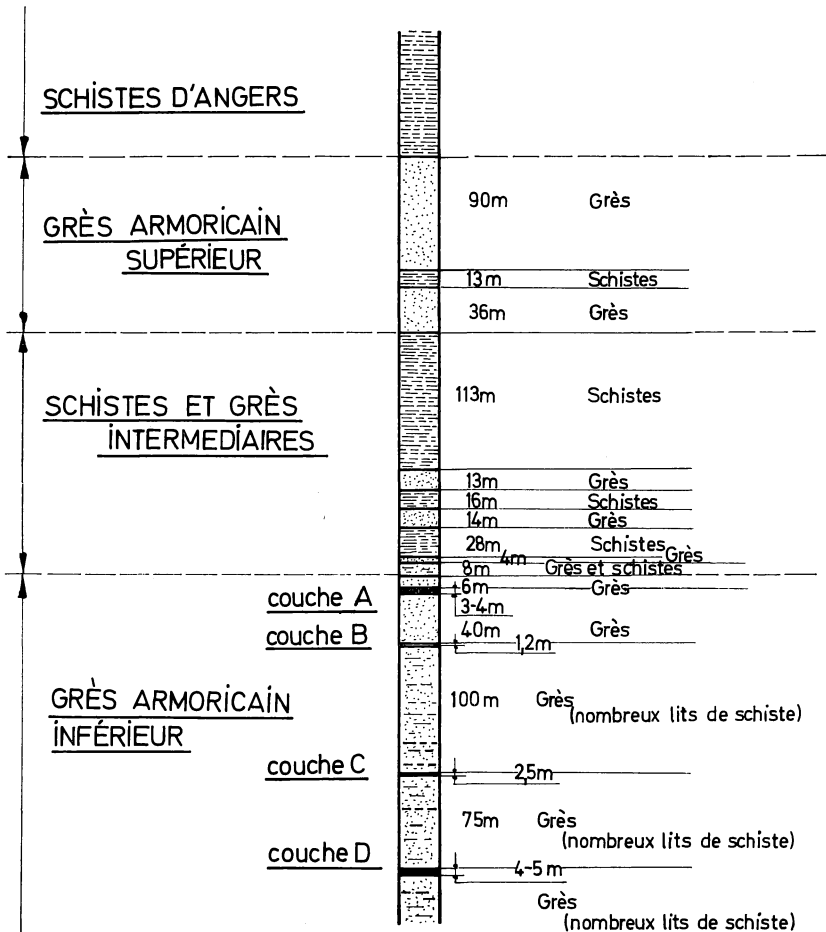


Fig. 1. — Stratigraphie du grès armoricaïn à Limele et à La Serpaudais.

de faire, sur le terrain, la distinction entre schistes intermédiaires et schistes à calymènes.

La stratification de la roche est bien marquée : macroscopiquement par une alternance de lits clairs et foncés (contenant plus ou moins de matières organiques); microscopiquement les lits clairs correspondent à des zones plus riches en quartz que les zones foncées. Cette disposition a été confirmée par des diffractogrammes de poudre pris dans des parties claires et foncées. La muscovite est grossièrement parallèle à ces strates. La roche montre encore une schistosité de fracture oblique à la stratification.

Les diffractogrammes obtenus sur ces schistes confirment les déterminations faites au microscope : quartz, muscovite, chlorite; des films pris sur des résidus d'attaque à l'acide fluorhydrique confirment l'existence du rutile et de la tourmaline. Les grains de quartz peuvent atteindre au maximum 200 microns de diamètre.

— *Les grès armoricains supérieurs.*

Grès blancs compacts et très durs. Leur puissance moyenne est d'environ 150 m; ils contiennent de petites couches de minerai de fer discontinues et irrégulières.

Ces grès sont formés principalement de grains de quartz bien classés à extinction onduleuse. Leur taille moyenne est de 150 microns avec un maximum de 300 microns.

Les grès supérieurs sont donc des quartzites encore plus purs que les grès inférieurs et leur classement est aussi bon.

Les diffractogrammes de poudre confirment la minéralogie observée au microscope, et d'ailleurs identique à celle des grès inférieurs.

L'Ordovicien moyen

Il est composé uniquement des *schistes à Calymènes*, schistes noir bleuâtre parfois ardoisiers mais qui présentent dans la région un faciès esquilleux et noduleux; par altération ils donnent des plaques argileuses blanchâtres, rubéfiées en surface, difficiles à distinguer des schistes intermédiaires. A certains endroits, ils ont donné une argile kaolinique bleue qui blanchit à la cuisson. Elle est exploitée pour la céramique dans une carrière au sud-ouest de Châteaubriant. Cette argile a fait l'objet d'une étude de J. Nicolas (1957).

Au microscope, on peut reconnaître les minéraux suivants : muscovite et séricite, quartz, chlorite, rutile, tourmaline, zircon et les minéraux opaques : goethite, magnétite, pyrite.

Les diffractogrammes de poudre confirment la minéralogie décrite; de plus, des films pris sur des résidus d'attaque à HF, HCl et HNO₂ ont permis de confirmer aussi la présence de rutile et de tourmaline.

La roche est assez homogène; on n'y voit pas de stratification comme dans les schistes intermédiaires. La taille des cristaux est en moyenne de 60 microns; la muscovite pouvant avoir jusqu'à 200 microns au maximum; la taille des grains de quartz oscille, elle, entre 25 et 100 microns. Il existe une schistosité de fracture. La muscovite et les aiguilles de rutile ne sont que très grossièrement orientées.

L'étude des agrégats orientés de schistes altérés et de l'argile bleue de décomposition de ces schistes donne pour les minéraux argileux : muscovite 85 %, kaolinite : 15 %.

Les terrains post-paléozoïques

L'Eocène n'apparaît qu'au nord-est de la feuille 91 sous son faciès *grès à Sabals* (ou grès Ladères), c'est-à-dire sous son faciès le plus littoral.

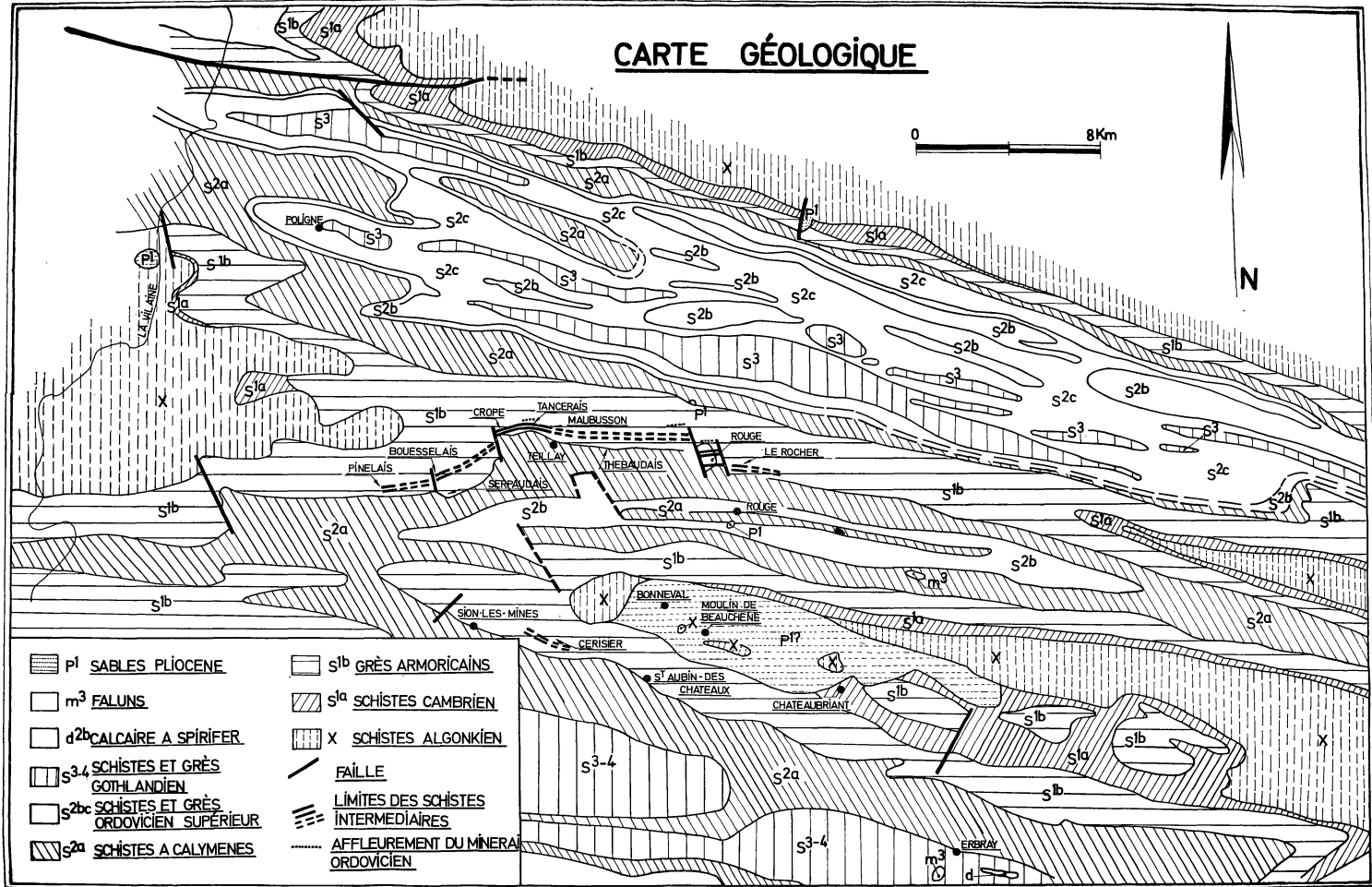


Fig. 2

Les premiers dépôts post-paléozoïques de la région sont des *faluns miocènes* (m³) dont il ne reste que quelques témoins. Cette formation, conséquence de l'invasion de la mer miocène, est largement représentée dans toute la Bretagne.

En outre, il subsiste dans la région de nombreux lambeaux de sables de granulométrie grossière. Ils sont constitués de grains roulés entourés de matériaux rouges, fins. L'alternance de lits plus grossiers et plus fins montre que la stratification est horizontale.

Chaque strate montre un granoclassement et on voit de nombreux cas de stratification entrecroisée. Ces sables reposent directement sur les terrains paléozoïques et comblent d'anciennes vallées, semble-t-il. La synthèse des études de ces sables qui ont recouvert toute la Bretagne a été faite par S. Durand (1960). Leur caractère marin et leur âge pliocène ont été confirmés par la présence de glauconie et l'étude des foraminifères.

III. TECTONIQUE

La région a été plissée au moment de l'orogénèse hercynienne. La partie centrale est occupée par le synclinal de Teillac flanqué au nord de l'anticlinal de Bain et au sud de celui de Châteaubriant. A l'extrémité nord, le synclinal de Poligné fait suite à l'anticlinal de Bain et au sud, le synclinal d'Erbray fait suite à l'anticlinal de Châteaubriant (voir fig. 2).

Le relief présente une suite d'ondulations parallèles. Elles correspondent à la nature des roches du substratum : les schistes forment les vallées, les grès les sommets. Les différences d'altitude sont faibles : le fond des vallées est à la cote moyenne 60 m, les sommets à la cote 100 m.

Le réseau hydrographique se localise dans les schistes, les rivières montrent parfois des méandres allongés suivant la schistosité. Elles traversent les bancs de grès à la faveur des failles.

Le sommet de la nappe aquifère est à une dizaine de mètres sous la surface des sommets.

D'après les études sur l'ensemble de la Bretagne (Durand, 1960), il apparaît que les lambeaux des faluns miocènes ne fossilisent pas d'anciennes vallées mais sont conservés dans des zones effondrées. Il n'est donc pas possible de tracer une surface d'érosion pré-miocène. Les essais de raccord montrent que les déformations tectoniques ont été importantes depuis cette époque : de l'ordre de 50 m. Ces déformations, conséquences de mouvements épiorogéniques, déterminent les transgressions et les régressions subies par la Bretagne depuis le Primaire. Elles sont à grands rayons de courbure et intéressent de grands compartiments de la Bretagne. Elles modifieraient probablement le sens général d'écoulement des rivières.

Il est permis de penser que la surface de la région à l'Eocène ne devait pas être très différente de la surface actuelle : l'influence de la tectonique devait seulement y être plus marquée.

IV. LE MINÉRAI DE MINÈRE

L'étude du minerai se répartit sur 10 chantiers, anciens ou en exploitation, neuf d'entre eux alignés sur le flanc sud de l'anticlinal de Bain-de-Bretagne, le dixième situé sur le flanc sud de l'anticlinal de Châteaubriant.

Les minières recouvrent, suivant leur importance, deux ou toutes les formations de l'Ordovicien : des *grès inférieurs* aux *schistes à calymènes* (fig. 3) ; elles n'atteignent

généralement pas l'affleurement de la courbe de minerai orodovicien. Elles sont recouvertes d'une faible épaisseur de terre végétale et leur profondeur atteint 8 à 10 m dans les cas les plus favorables. Les limites latérales sont difficiles à voir mais le minerai disparaît toujours par amincissement progressif à l'approche de limites topographiques ou de failles. Les minières ont en plan la forme d'ellipse dont les axes, orientés NNW-SSE et WSW-ENE, ont quelques centaines de mètres de longueur.

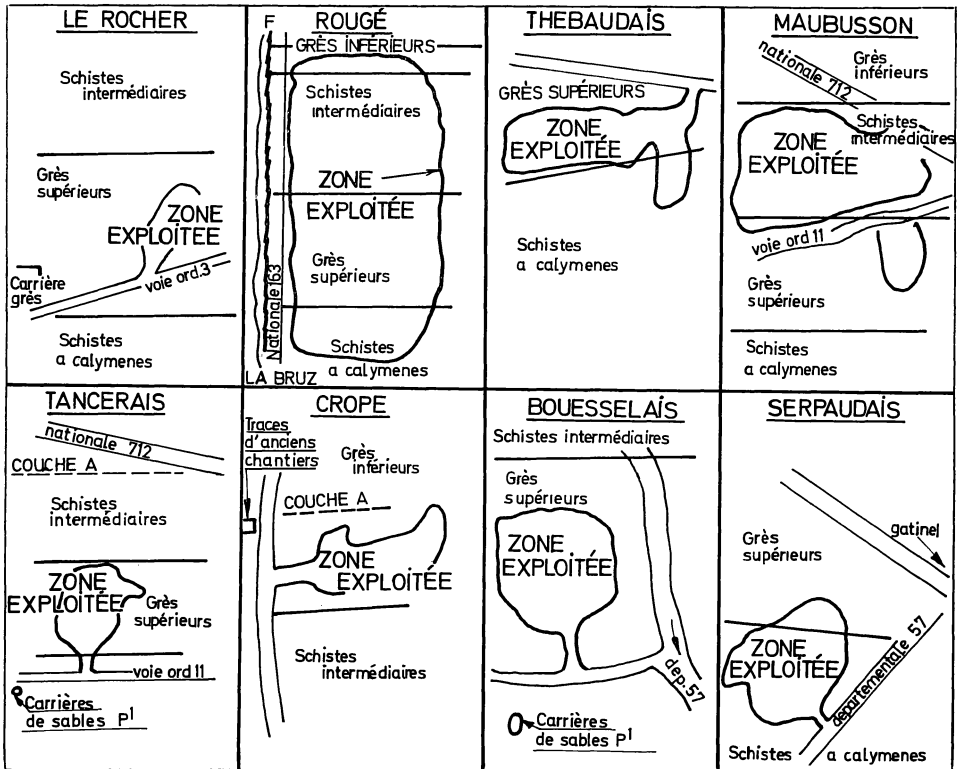


Fig. 2. — Situation des chantiers (croquis).

Caractères macroscopiques du minerai

Près de la surface et souvent jusqu'en surface, le minerai se présente en « nodules » de taille moyenne d'une dizaine de centimètres, englobés dans une matrice argileuse ou sableuse de couleur variable (brune, rouge, même blanche) avec des morceaux de grès et des concrétions.

Vers la base, les nodules augmentent de taille et, peu à peu, forment des blocs en allure subhorizontale. Tout à fait à la base, le minerai ne forme plus qu'une pellicule qui remplit les diaclases et les fractures des roches du substratum (dans les schistes on trouve de petites lentilles de minerai d'une vingtaine de centimètres de longueur); on passe ainsi insensiblement et irrégulièrement à la roche ordovicienne.

Le minerai de minière présente donc trois types superposés dont l'épaisseur varie suivant la nature de la roche sous-jacente (schiste ou grès) et suivant la localisation du chantier.

1. *Zone I.*

Tranche superficielle, composée de nodules, parfois mais rarement pisolithiques. Ces nodules paraissent uniquement constitués de minéraux ferrifères. Ils ne sont pas uniquement localisés au-dessus des minières, mais sont très répandus dans la région. On en trouve même, avec des traces d'exploitation ancienne, au-dessus des roches algonkiennes et cambriennes (Moulin de Beauchêne-Bonneval).

2. *Zone II.*

Minerai compact en blocs ou en plaquettes sur les grès, en feuillets sur les schistes, paraissant stratifiés en allure subhorizontale. Cette zone est nettement plus développée sur les grès que sur les schistes; elle disparaît sur les bords des minières. A la mine de Rougé, on peut voir un excellent exemple de cette zone : au-dessus de grès pendages sud de 20° à 30°, l'exploitation a laissé une petite masse de minerai à allure stratifiée subhorizontale; l'observation précise montre que ces strates résultent d'un débitage du grès en blocs de toutes tailles à angles arrondis.

La formation de cette zone semble donc provenir de l'altération du matériau initial. Le minerai est composé de deux fractions : une fraction ferrique et une fraction silicatée.

3. *Zone III.*

Elle marque, en profondeur, la fin de la minéralisation et est rarement exploitée. La fraction ferrique a de moins en moins d'importance, elle occupe les fractures et les diaclases d'une roche de plus en plus massive. Les blocs supérieurs de cette zone qui sont généralement laissés dans les chantiers, ont l'aspect d'un conglomérat, à ciment ferrugineux.

On trouvera en annexe une coupe verticale théorique du minerai comportant les trois zones (fig. 4).

Étude microscopique du minerai de Rougé

Cette étude faite sur sections polies pour la fraction ferrique et sur lames minces pour la fraction silicatée du minerai a confirmé le bien fondé de la division macroscopique du minerai en trois zones.

On trouvera ci-après une synthèse des caractères du minerai suivant ces zones et la nature (schisteuse ou gréseuse) des roches du substratum.

Dans la fraction ferrique, on a déterminé les minéraux suivants :

1. Goethite : celle-ci se présente sous deux formes :
 - a. goethite « grise » à réflexion internes brunes, intenses,
 - b. goethite « blanche » à plus grand pouvoir réflecteur.
2. Hématite.
3. Ilménite, souvent en voie d'altération.
4. Graphite.
5. Pyrite : il subsiste dans le minerai quelques rares et très petits cristaux de pyrite.

Zone I.

Les nodules sont essentiellement formés de goethite grise cimentée par de la goethite blanche. On trouve l'hématite soit en mélange avec la goethite, soit comme ciment autour des deux formes de goethite. Les nodules présentent des pores qui

montrent parfois une tendance à se disposer suivant des cercles concentriques. C'est principalement autour de ces pores que l'on trouve la goethite blanche :

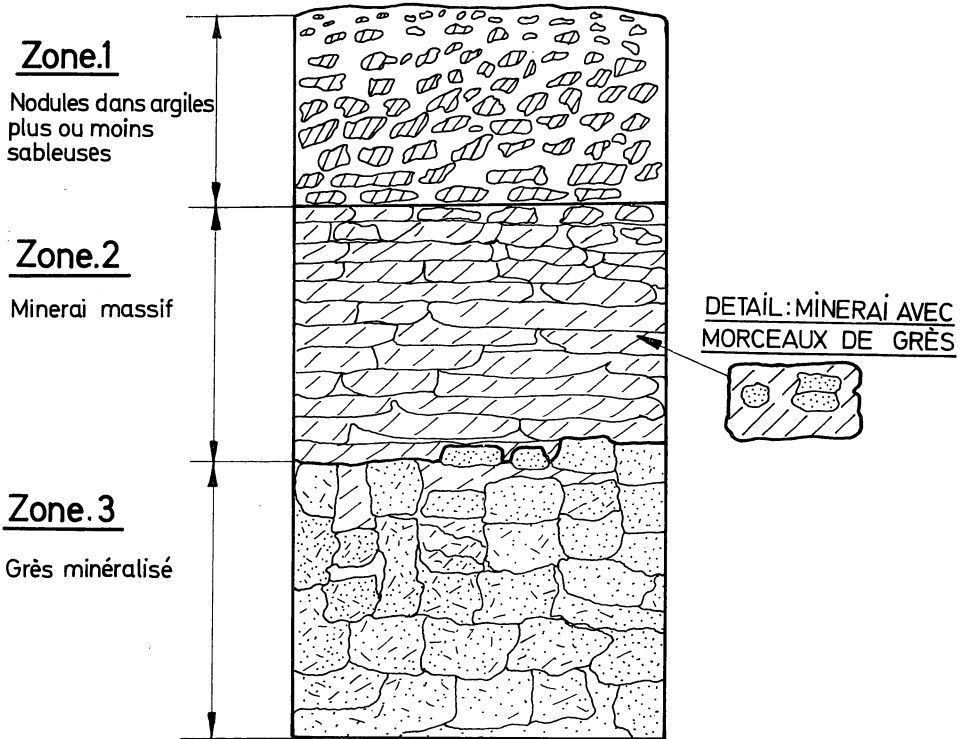


Fig. 4. — Coupe théorique dans le minerai.

c'est de la goethite très pure en petites fibres orientées parallèlement. On reconnaît parfois dans la masse de goethite blanche et grise de petits cristaux d'ilménite et de graphite. Les minéraux transparents : quartz, micas et argiles sont disséminés dans la goethite; les micas ont parfois « éclaté » suivant leur plan de clivage : les interstices sont remplis de goethite. Quelle que soit la nature du substratum, le minerai contient des grains de quartz. A côté de grains dont la taille moyenne correspond soit à celle des schistes, soit à celle des grès, on observe de grands grains détritiques fortement fracturés dont la taille peut aller jusqu'à 5 mm. Ces cristaux ne semblent pas pouvoir provenir de grès orodviciens qui se caractérisent, rappelons-le, par un excellent classement, et une granulométrie plus fine.

Zone II.

La fraction ferrique diminue au profit de la fraction détritique. Au sommet de la zone, on observe encore du minerai formé de goethite avec gangue disséminée : les structures de goethite blanche autour des pores subsistent. Peu à peu, on voit apparaître de véritables « galets » de grès dont les fissures sont remplies de goethite. La cristallisation de la goethite semble avoir « ouvert » les fissures; il semble possible de reconstituer parfaitement le galet après enlèvement de la goethite. L'hématite disparaît, la fraction ferrique n'est plus constituée que de goethite claire

qui cimente des plages de goethite grise. Il reste de l'ilménite principalement dans les morceaux de grès. On observe du graphite dans presque toutes les sections. A côté du grès, on note aussi dans cette zone la présence de gros grains de quartz détritique. Exceptionnellement, certains d'entre eux paraissent corrodés.

Zone III.

Sur les grès, la fraction ferrique n'occupe plus que les fractures et diaclases de la roche; si les fissures sont assez larges, le remplissage n'est pas parfait et on voit encore des pores entourés de goethite blanche. Sur les schistes, on n'observe pas de fragments de roche, mais seulement quelques micas dont les clivages sont remplis de goethite et des grains de quartz dont certains ont une taille dix fois supérieure à celle du quartz des schistes. Il y a cimentation de goethite grise par de la goethite à plus grand pouvoir réflecteur en un réseau très fin qui donne au minerai l'apparence feuilletée du schiste.

Examen du minerai aux rayons X

Des diffractogrammes de poudre ont été pris sur des échantillons du minerai; ils ont montré à côté des minéraux quartz et muscovite un mélange de goethite, d'hématite et d'un peu de lépidocrocite (existence d'un léger pic à 6,28 Å, réflexion la plus intense de la lépidocrocite).

Des films pris après prélèvement direct sur les sections polies ont confirmé la présence de goethite sous ses deux formes « blanche » et « grise » et la présence d'hématite.

Analyses chimiques

On a reporté sur les plans d'exploitation de quelques minières l'emplacement, la teneur moyenne en fer et en SiO_2 et le tonnage par m^2 de nombreuses fouilles.

Il résulte de ce travail que :

1. le rapport Fe/SiO_2 est très variable : de 7,2 à 0,5;
2. les rapports les plus faibles sont trouvés sur les grès et intercalations gréseuses, les plus grands sur les schistes;
3. les rapports n'atteignent pas 3 au centre de la minière sur les grès alors que sur les schistes, ils valent souvent 3 et plus;
4. sur les bords des minières, le rapport diminue, et devient même plus petit que 1 sur les grès, à la suite d'une diminution de la teneur en fer : disparition de la zone II et diminution d'épaisseur des zones I et III;
5. La somme $\text{Fe} + \text{SiO}_2$ est relativement plus constante. Elle varie de 50 à 70 %. La moyenne est de 64 %;
6. dans la partie centrale des minières, la somme des teneurs varie de 59 à 65 %.

Ainsi, l'influence des roches du substratum se manifeste par la variation du rapport Fe/SiO_2 . On peut même, dans la minière de Maubusson, suivre le passage d'un intercalaire gréseux dans les schistes intermédiaires par la variation de ce rapport dans le minerai. Quant à la constance relative de la somme des teneurs $\text{Fe} + \text{SiO}_2$ dans les minières et entre elles, elle montre la constance de la teneur en minéraux argileux.

V. SYNTHÈSE DES OBSERVATIONS

Le terrain.

Le travail de terrain montre que :

- a. les minières sont alignées le long des flancs sud des anticlinaux sur les plateaux des formations ordoviciennes,
- b. le réseau de failles hercyniennes (NNW-SSE, WSW-ENE) est antérieur à la formation du minerai puisque certaines de ces failles traversent les minières sans modifier la minéralisation. Elles ne sont cependant pas sans influence sur la minéralisation, puisque c'est parfois à l'approche des grandes failles de ce réseau que la minéralisation disparaît.
Il existe aussi dans le minerai des « dérangements » de directions variables et qui semblent eux, postérieurs à la minéralisation;
- c. les minières peuvent être divisées en trois zones superposées dont la zone supérieure n'est pas localisée comme les amas exploitables (a) mais possède une grande extension dans la région.
- d. il existe une énorme lacune entre les dépôts gothlandiens et les faluns miocènes, cette lacune correspond à une période d'émersion de la région pendant laquelle elle fut soumise à l'altération continentale.

Étude au microscope

La fraction ferrique du minerai paraît composée de goethite avec un peu d'hématite. L'hématite n'existe que dans la zone I et une partie de la zone II.

La gangue du minerai est composée de morceaux des grès du substratum et de cristaux de quartz fracturés, étrangers en partie aux formations ordoviciennes.

L'ensemble de cette gangue, d'abord dispersée, augmente en importance vers ses parties les profondes du gisement. Le minerai semble constitué de deux parties :

1. une partie transportée : goethite, hématite,
2. une partie résiduelle (in situ) composée de morceaux de grès, de grains de quartz, de muscovite provenant des schistes et des grès du substratum, avec un peu de graphite et d'ilménite.

Le minerai de couche, dans ses parties altérées est composé d'hématite et de goethite. Le goethite épigénise l'hématite dont il reste le squelette. La succession des transformations à partir du minerai non altéré, paraît être magnétite → hématite → goethite et est donc totalement différente de celle de minerai de minière.

Étude aux rayons X

- a. L'étude des films a confirmé, pour les roches du substratum, la minéralogie vue au microscope.
Elle a permis de déceler dans le minerai qu'il existait une petite quantité de lépidocrocite et de confirmer la détermination de deux formes de goethite à pouvoirs réflecteurs différents.
- b. L'étude des agrégats orientés a montré que toutes les roches, altérées en argiles ou non, contiennent de la kaolinite, et en particulier les grès inférieurs et les schistes intermédiaires. Dans les argiles plus ou moins sableuses associées aux

minerais, le pourcentage de kaolinite est très élevé, c'est même parfois le constituant principal; la chlorite a presque totalement disparu.

Il semble donc que la kaolinite soit en partie primaire, en partie secondaire.

VI. CONCLUSIONS

Le minerai de minière paraît former un ensemble particulier différent topographiquement, minéralogiquement et chimiquement de celui formé par le minerai de couche. Il est bon de rappeler ici que des couches non altérées du minerai ordovicien ont été exploitées à faible profondeur sous la minière de Rougé.

La région ne montre d'autre part aucune trace de phénomènes magmatiques et la localisation des minières ne dépend pas de failles amenant des solutions ferrifères.

Les gisements sont limités par certaines grandes failles, celles qui modifiaient les conditions hydrologiques en mettant en contact anormal terrains perméables et imperméables. Partout ailleurs dans la région, quelle que soit la roche du substratum, on trouve des nodules de goethite et des concrétions. C'est la preuve que les accumulations des minières ne sont pas le fait d'un phénomène local, là où les couches de minerai ordovicien affleurent ou sont à faible profondeur, mais celui d'un phénomène régional ayant agi sur toutes les roches.

Les gisements de fer de Rougé paraissent donc être des dépôts ferrugineux, résultant en partie d'un phénomène d'accumulation absolue après un transport à composante horizontale importante, et en partie d'un phénomène d'accumulation relative associé à l'altération du substratum.

Que soient remerciés ici tous ceux qui de leur expérience et leurs conseils m'ont aidé dans ce travail :

MM. les Professeurs L. Calembert, P. Bartholomé, Ch. Ancion, qui ont proposé et guidé cette étude ;

M. J. Thorez pour l'étude des minéraux des argiles ;

la direction de la S.M.I.R., qui m'a accueilli en son siège de Rougé.

BIBLIOGRAPHIE

- CAILLÈRE, S. et KRAUT, F. 1965. — Les minerais de fer d'âge primaire de Normandie et d'Anjou. *Mémoire Museum d'Histoire Naturelle*, Série C, t. XII, fasc. 2.
- CAYEUX, L., 1918. — Coup d'œil sur les minerais de fer de la presqu'île armoricaine. *Bull. Soc. fr. Min.*, t. 41, p. 134.
- DURAND, S., 1960. — Le Tertiaire de Bretagne. *Mém. Soc. Geol. et Min. de Bretagne*.
- HEM, J. D., et CROPPER, W. H., — Survey of ferrous-ferric chemical equilibria and redox potentials. *Geological Survey water-supply paper*, 1459 A.
- MAIGNIEN, R., 1966. — Compte rendu de recherches sur les latérites. Unesco.
- MAIGNIEN, R., 1958. — Le cuirassement des sols en Guinée. *Mém. carte géol. Alsace-Lorraine*.
- NICOLAS, J., 1957. — Contribution à l'étude géologique et minérale de quelques gisements de kaolin bretons. *Mém. Soc. fr. de céramique*.

DISCUSSION

En écoutant l'exposé de M. Clercx, W. van Leckwijck s'est rappelé qu'il a été confronté, en 1950, avec une situation analogue : minerais de minière et minerais de couche voisinant mais différant topographiquement, minéralogiquement et chimiquement. A ce moment, on exploitait au Maroc Central, au pays des Sokhrat (S. E. de Casablanca), à la fois *a*) du minerai de fer sédimentaire, à oolithes chloritiques et sidéritiques partiellement substituées par la magnetite, interstratifié dans les schistes d'un ensemble schiste-quartzitique d'âge ordovicien, et *b*) des « croûtes » ferrugineuses formées de limonite concrétionnée. Pour celles-ci, la superposition était la suivante : i) schistes de l'Ordovicien moyen, altérés, parfois rouges, redressés, avec fissures minéralisées en oxydes ferriques et, vers le sommet, localement, un encroûtement ferrugineux, riche mais mince, et discontinu, ii) limonite concrétionnée, horizontale, de 0,15 à 3 m d'épaisseur, exploitée à Sokhrat ej Jaja, iii) couverture formée suivant les endroits, soit d'alluvions ou d'éluvions à gravier ou galets roulés, soit, à Sokhrat ej Jaja, d'un conglomérat blanc (0 à 4 m), à gros blocs calcaires provenant du Crétacé voisin, à éléments plus petits et plus rares empruntés au substratum ordovicien et, localement, à galets de limonite repris de la couche sous-jacente. La couche *ii* a, suivant les endroits, une teneur en fer variable, allant d'une couche brune, cohérente mais friable, vacuolaire et tubulaire, à un minerai de fer riche, plus compact et plus massif. Quant au schiste ordovicien *i*, un échantillon peu altéré n'a fourni à l'analyse que 4,6 % de fer.

Si la zone à minerai exploitable est fort restreinte, il n'en est pas de même de celle où la couche *ii* est sous forme de roche à vacuoles, de tubes et de nodules, qui, elle, a une répartition beaucoup plus étendue. Les surfaces argileuses ou argilo-sableuses rouges couvertes de nodules ferrugineux se retrouvent un peu partout avec les mêmes caractères au Maroc septentrional et central, couronnant des plaines et des plateaux. On leur attribue un âge villafranchien. Le climat rubéfiant qui régnait à l'aurore du Quaternaire en serait responsable. Il est normal que dans les régions où les sources en fer étaient plus abondantes et concentrées, les dépôts superficiels soient devenus plus épais et plus riches.

Une description sommaire de ces gisements est donnée dans le Chapitre « Fer » (pp. 118 et 119 et pl. I), dû à J. Agard, J. Destombes et W. van Leckwijck, du Volume « Géologie des Gîtes Minéraux Marocains », *Notes et Mémoires du Service Géologique du Maroc*, n° 87, 1952. Pour le minerai ordovicien, consultez le même chapitre et la note de W. van Leckwijck : « Sur l'âge et la nature des minerais de fer de la région entre Christian et le plateau des phosphates (Maroc Central) », *C. R. Ac. Sc.*, t. 232, 1951, pp. 2241-2243.