

LE BASSIN FERRIFERE LORRAIN

Aperçu géologique et économique

par

Pierre L. MAUBEUGE

Il est doublement intéressant de se pencher aujourd'hui sur le gisement de minerai de fer sédimentaire lorrain. D'une part, pour un public scientifique, il est évidemment du plus haut intérêt d'avoir une vue d'ensemble de la question, en tenant compte de l'évolution de nos connaissances scientifiques ; mais, d'autre part, un actualisme brûlant est lié à ce bassin ferrifère lorrain, actualisme presque aussi important que celui ayant présidé à la découverte du prolongement du gisement lorrain au début de ce siècle ; c'est toutefois maintenant un actualisme moins réconfortant que celui lié à la découverte d'une nouvelle richesse nationale, puisqu'il s'agit de la question de l'avenir du bassin lorrain exploité. Après tout ce qui a pu être dit et écrit à ce sujet, il n'est pas inintéressant de savoir ce qu'en pensent les géologues, économistes et géologues étant à peu près les seuls capables d'aborder objectivement un si délicat problème. Et précisément, vous verrez que l'économie ne peut pas être séparée de la géologie, de n'importe quelle matière s'agisse-t-il, de n'importe quel lieu soit-il question. Pour certains ce sera peut-être la découverte de la notion de ce qu'est une richesse minérale, de la subtilité du problème, de ses évolutions possibles. Il s'agit certes de faire un exposé géologique, mais vu les buts de la réunion, une très courte incursion en économie minière est une nécessité.

(*) Conférence donnée lors des séances du 14 novembre et du 12 décembre 1963.

Historique sommaire

Longtemps réputé comme un des plus importants gisements de minerai de fer du Monde, le bassin lorrain était connu en divers points de ses affleurements avant les Romains ; les Romains faisaient d'ailleurs travailler les esclaves gallo-romains dans des exploitations souterraines dont on retrouve les traces et les instruments ; du point de vue sidérurgie, ils savaient et pouvaient traiter ce minerai ; il est phosphoreux, nous le verrons dans un instant. Mais la production de faibles quantités de métal dans des bas-foyers, au charbon de bois, l'affinage par martelage manuel, permettaient la production du fer de médiocre qualité, à partir d'une fonte phosphoreuse.

Après un long oubli, le bassin lorrain fut progressivement découvert en entier à la fin du XIX^e siècle (de 1870 à 1880), avec diverses péripéties. Il fut d'abord circonscrit à la région de Nancy-Neuves-Maisons, autour de Longwy, et vers Hayange. Il existait d'ailleurs en bien des points de la Lorraine des forges très importantes, y compris à Hayange par exemple ; mais d'autres dressent leurs ruines saisissantes et envoûtantes comme par exemple le Buré d'Orval, dans des vallées perdues à l'Ouest de Longuyon et de Longwy. Ces forges traitaient un minerai de fer en grains remplissant les fissures du karst des terrains jurassiques, ou un minerai en grains, de formation alluviale, plus rare. C'est au moment où ces gîtes appuyés sur une dévastation des forêts pour la marche des hauts fourneaux, s'épuisaient dramatiquement, qu'une double révolution économique se produisait : en géologie on trouvait des gisements de charbon de terre importants et proches des utilisateurs ; il en était ainsi en Sarre et Lorraine. On savait utiliser en sidérurgie le coke tiré de ces charbons. Le minerai utilisé, à haute teneur en fer, mais surtout exempt de phosphore, était appelé « fer fort », terme noble. Les couches de minerai de fer lorrain, situées parfois plus bas sous les poches de fer fort, correspondant à un minerai phosphoreux, conduisaient au qualificatif péjoratif de « minette ». Or, répondant à un besoin des hommes, une découverte industrielle prodigieuse, le procédé THOMAS, par des nouvelles méthodes sidérurgiques, permettait en 1880 de traiter la minette lorraine, pour faire des fers non phosphoreux. Le relais des gîtes épuisés était assuré. Mieux même, la découverte d'un formidable gisement, répondant aux besoins décuplés des humains, lancés dans l'aventure de la civilisation industrielle, donnait une impulsion nouvelle aux usines lorraines.

Positions géographique et géologique

Le Bassin Ferrifère de Lorraine est situé sur l'auréole d'affleurements des terrains jurassiques de la partie Est du bassin de Paris. La continuation de ces terrains d'enneie doucement, selon la forme générale du bassin parisien, en cuvette, vers l'Ouest ou le S.-O. selon le point considéré, avec une pente moyenne de 2 à 3 cm par mètre. Longtemps on a ignoré ce qu'il advenait des faciès plus à l'Ouest, nous verrons ultérieurement les données actuelles sur ce problème. Au Nord, on tombe rapidement sur le massif ardennais primaire, et son prolongement, l'érosion post-tertiaire ayant débarrassé les vestiges d'extension des terrains jurassiques ; il en est de même plus à l'Est, puisqu'il faut aller jusqu'en Alsace, au Nord de Saverne, pour retrouver des terrains de même âge, mais de faciès entièrement argilo-marneux (faciès souable, dit « Marnes à *Opalinum* », improprement d'ailleurs pour cette dernière zone puisqu'elle correspond seulement à la partie supérieure de cette série marneuse ; le gîte lorrain se situe à la partie inférieure de ce dépôt marneux). Les couches de minerai se placent dans la région du contact du Jurassique inférieur et moyen, ou encore en termes lithostratigraphiques, du Lias et du Dogger. Des conceptions très controversées avec des interprétations d'écoles stratigraphiques, menaient jusqu'à ces dernières années les géologues français à situer la minette dans l'étage aalénien. Une récente discussion internationale a conduit à établir une échelle stratigraphique unifiée ; ceci attendu que l'Aalénien, dont le type est pris à Aalen, en Wurtemberg, avec d'ailleurs également des couches de minerai de fer sédimentaire, répond à une série légèrement plus récente que l'ensemble du gîte lorrain ; ce qui demeure de l'Aalénien répond, dans l'Est du Bassin de Paris, à des formations atrophiques, conglomératiques, avec bien souvent une interruption de la sédimentation, dont nous verrons la raison.

La formation de minerai de fer oolithique est loin d'être limitée au seul étage toarcién supérieur en Europe ; dans nos régions, nous retrouvons le même phénomène entre autres étages plus récemment, à l'Oxfordien, zone à *Cardioceras cordatum* : c'est ainsi que, au Nord de Pagny-sur-Meuse, jusque vers les Ardennes, un développement lenticulaire de minerai de fer sans valeur industrielle, se manifeste sporadiquement ; il en est de même pour le Callovien, précédemment, avec plus spécialement des développements dans les départements des Vosges et la Haute-Marne ; on y trouve d'ailleurs une stratigraphie très complexe, avec des remaniements intra-jurassiques donnant des minerais calloviens

remaniés à l'Oxfordien : ceci par suite du jeu continu d'axes tectoniquement actifs, phénomène que nous trouverons moins accusé dans le bassin toarcien.

Pour les stratigraphes, le gisement lorrain contrairement à ce qui est parfois encore écrit, ceci contre tout ce qui est parfaitement démontré, se situe sous la zone à *Leioceras opalinum*, avec les zones à *Dumortieria* à la base ; autrement dit il correspond principalement à ce que les anciens auteurs concevaient comme la zone à *Pleydellia aalense*. En de très rares points des vestiges atrophiques de la zone à *Opalinum*, constituant la base de l'Aalénien nouveau style, ont été identifiés ; il semble que les sédiments correspondants aient été abrasés et dispersés lors des perturbations qui ont pris naissance à la fin du dépôt de l'oxyde de fer. Les formations aaléniennes, essentiellement conglomératiques, correspondent en haut aux zones à *Ludwigia Murchisonae* - *Ludwigella Concava* (la première forme est toujours inconnue à ce jour dans nos régions). Le Bajocien commencera là-dessus avec la zone à *Hyperlioceras discites*, par une puissante et constante masse argileuse formant soubassement du reste du Bajocien, à prédominance calcaire. On voit donc que le complexe de couches de minerai de fer et de stériles marno-calcaires peu ou pas minéralisés, couronne une série entièrement argileuse, du Toarcien.

C'est un fait évident, connu depuis longtemps ; on a là la réalisation de la succession classique idéale des sédiments dans un bassin sédimentaire, les sédiments argileux devenant de bas en haut détritiques puis calcaires. C'est le phénomène de séquence sédimentaire, auquel la dénomination de cyclothème ces dernières années, n'a rien apporté de nouveau. D'ailleurs la recherche de l'évolution latérale des faciès montre une succession totalement différente. Et cette méthode stratigraphique n'est qu'une étape préalable locale, et non un couronnement dans les études stratigraphiques ; car la stratigraphie est une science synthétique tenant compte de tous les facteurs, y compris de la tectonique. Et cette analyse lithostratigraphique qui relève de la prostratigraphie, surtout quand elle n'est pas appuyée par la paléontologie, est incapable de faire de la fine stratigraphie, prouver des lacunes stratigraphiques, et encore moins permettre de découvrir de nouvelles couches, quoi qu'on en ait dit. D'ailleurs le report aux travaux de coordination de cette méthode, travaux de l'éminent sédimentologiste contemporain en ayant montré les possibilités, prouve clairement que celui-ci n'a jamais voulu tirer les conséquences que des auteurs postérieurs ont cru pouvoir tirer. Enthousiasme et vue partielle de certains problèmes ont parfois fait croire avoir saisi des réalités,

qui n'en étaient pas. Il convient de signaler ces germes d'idées inexactes qui risquent longtemps de se propager dans des milieux scientifiques et techniques moyennement spécialisés. La constatation du passage vers le centre du bassin de Paris, du faciès ferrugineux à couches complexes et variées dans leur succession, à une série uniforme et monotone argilo-marneuse, le faciès souabe, rend incompréhensibles les conclusions paléo-géographiques tirées d'une partie du bassin ; elles sont manifestement inapplicables ailleurs, sur l'étendue générale.

Nous verrons l'allure éminemment lenticulaire des couches de minerai, à l'échelle du bassin. Un fait fondamental parle contre certaines conclusions assises sur les cyclothèmes dans le bassin ferrifère lorrain. Bien souvent les intercalaires sont minéralisés et on voit par exemple des « complexes », la Couche brune étant jointive avec la Couche noire, etc... La transgression invoquée pour chaque changement de couche devient incompréhensible ; il faudrait des mobilismes différentiels dans les divers endroits du bassin, mobilismes contraires à toutes notions théoriques et pratiques de tectonique. Nous verrons aussi que le dépôt des sels de fer est lié avant tout à des conditions paléo-climatiques ; le mécanisme comme le détail de leur distribution sont certes subordonnés à l'épirogénie ; mais celle-ci n'a pas un rôle déterminant absolu ; les conditions locales : courants, allure du fond marin, etc..., prévalaient. Nous retrouvons d'ailleurs une confirmation dans le fait que les couches absentes pour le mineur, sont identifiées paléontologiquement, avec à leur sommet les indices de perturbation épirogénique connus dans tout le bassin ferrifère, qu'il y ait ou non dépôt ferrugineux à ce niveau.

Le destin minier de la Lorraine

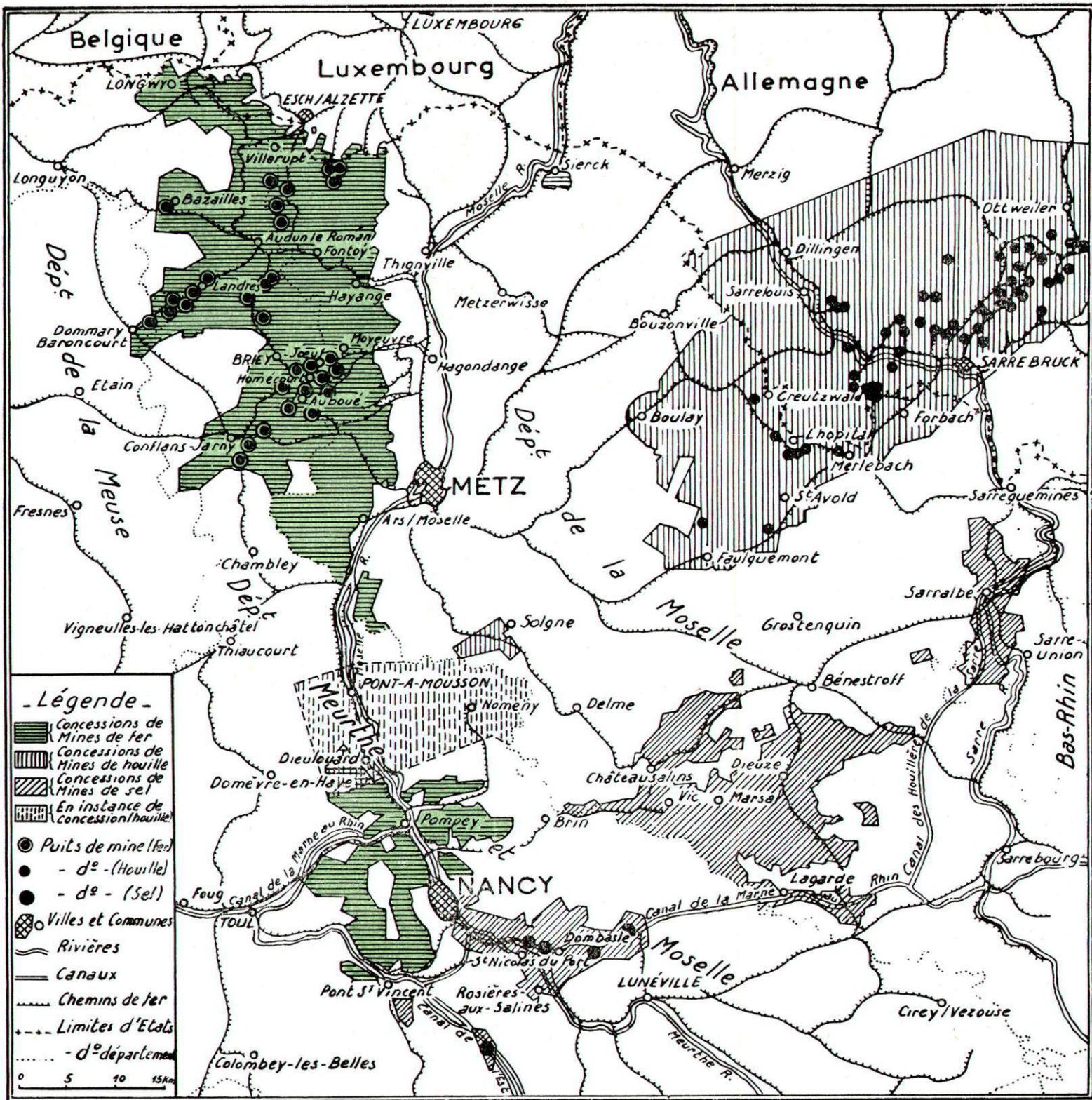
Avant de passer à l'examen des idées que l'on peut se faire de la genèse du gisement ferrifère lorrain, il est important de signaler encore un point relatif à sa situation géologique et géographique, en fonction de l'économie. La position du gisement affleurant à flanc de coteau était un élément de facilité d'exploitation : c'est tardivement que l'on a cherché à poursuivre les couches loin sous le plateau ; d'ailleurs, ce retard était dû à la pernicieuse théorie des affleurements. Celle-ci voulait que le dépôt soit littoral, cantonné aux affleurements actuels et ce littoral implicitement admis de façon simpliste tout près des couches affleurantes, et surtout du côté Est et N.-E. Ceci allait être lourd de conséquences

historiques et économiques nationales. Birmarck, totalement trompé par les rapports de ses géologues et ingénieurs des mines, admettait en 1870 que le gîte ferrifère était reconnu ; quelques bribes étaient laissées à la France, mais l'essentiel du bassin supposé était ravi au mépris de l'avis des populations et de leur histoire ; l'essentiel du gisement houiller lorrain était également annexé ; il en était de même du bassin salifère sur lequel une industrie salicole et surtout chimique était établie. C'était un exemple saisissant d'une frontière dictée par des impératifs économiques et tracée en fonction des lignes essentielles de gisements minéraux. Dans des exposés détaillés sur ces bassins, j'ai déjà avancé le terme « Trésors sur une frontière » et il est hors de doute que dans la lamentable rivalité franco-allemande, la Lorraine minérale a été un des objectifs économiques longtemps valables.

Ceci force à jeter un coup d'œil sur la carte minière lorraine ; et le moins averti des esprits est frappé par la stupéfiante coïncidence dans un secteur relativement restreint d'un gisement ferrifère, d'un gisement charbonnier (dont il est vrai les combustibles n'ont pas eu longtemps, et n'ont pas encore malgré les procédés nouveaux de cokéfaction, une haute valeur sidérurgique) ; il s'y ajoute à l'écart d'un complexe sidérurgique, mais s'y greffant partiellement, un bassin salifère un des plus grands du Monde. A faible distance se greffe un formidable gisement de calcaires purs, dans les Hauts de Meuse, dont on imagine mal la nécessité vitale pour les énormes tonnages de chaux d'aciérie.

Cette association de gîtes minéraux d'importance nationale ou mondiale, à des intervalles de l'histoire géologique d'une même contrée, correspond à une loi empirique de la géologie économique, maintes fois vérifiée de par le Monde. Ceci pour les gîtes sédimentaires : c'est que des conditions paléo-géographiques assez voisines sont nécessaires pour engendrer de tels gisements dans des bassins marins ; il s'y ajoute les dépôts phosphatés ; nous en avons des traces dans la série jurassique et crétacée, malheureusement sans véritables gisements. On terminera le cycle en évoquant la question des hydrocarbures liquides ou gazeux, que nous savons exister dans la série sédimentaire lorraine, à propos desquels il semblerait que l'on se soit appliqué à éviter toute découverte tant des problèmes évidents demeurent inabordés par l'industrie pétrolière. Imagine-t-on bien les conséquences de la découverte, même de faibles gisements, de gaz naturel tout près du complexe industriel lorrain ?

Avant de quitter cet aspect de géographie économique, il est fondamentale de jeter un coup d'œil sur une carte à plus grande



Belgique

Luxembourg

Allemagne

LUXEMBOURG

LONGWY

ESCH/ALZETTE

Longuyon

Villerupt

Bazailles

Audun le Roman

Fontoy

Thionville

Metzerwisze

Merzig

Ottweiler

Dep't de la Meuse

Landres

BRIEY

Jozul

Homécourt

Auboué

Moyeuville

Hagondange

METZ

Ars/Moselle

Bouzonville

Dillingen

Sarrebourg

SARREBRUCK

Fresnes

Conflans Jarny

Chambley

Solgne

Moselle

Grostenquin

Sarrelbourg

Vigneulles-les-Hattonchâtel

Thiaucourt

PONT-A-MOUSSON

Nomeny

Delme

Sarre-Union

Dieulouard

Domèvre-en-Haye

Pompey

Châteausalins

Dieuze

Vic

Marsal

Sarrebourg

Feug

Pompey

Brin

Lagarde Rhin

Sarrebourg

Toul

NANCY

Moselle

Pont St Vincent

Rosières-aux-Salines

LUNÉVILLE

Creil/Verouse

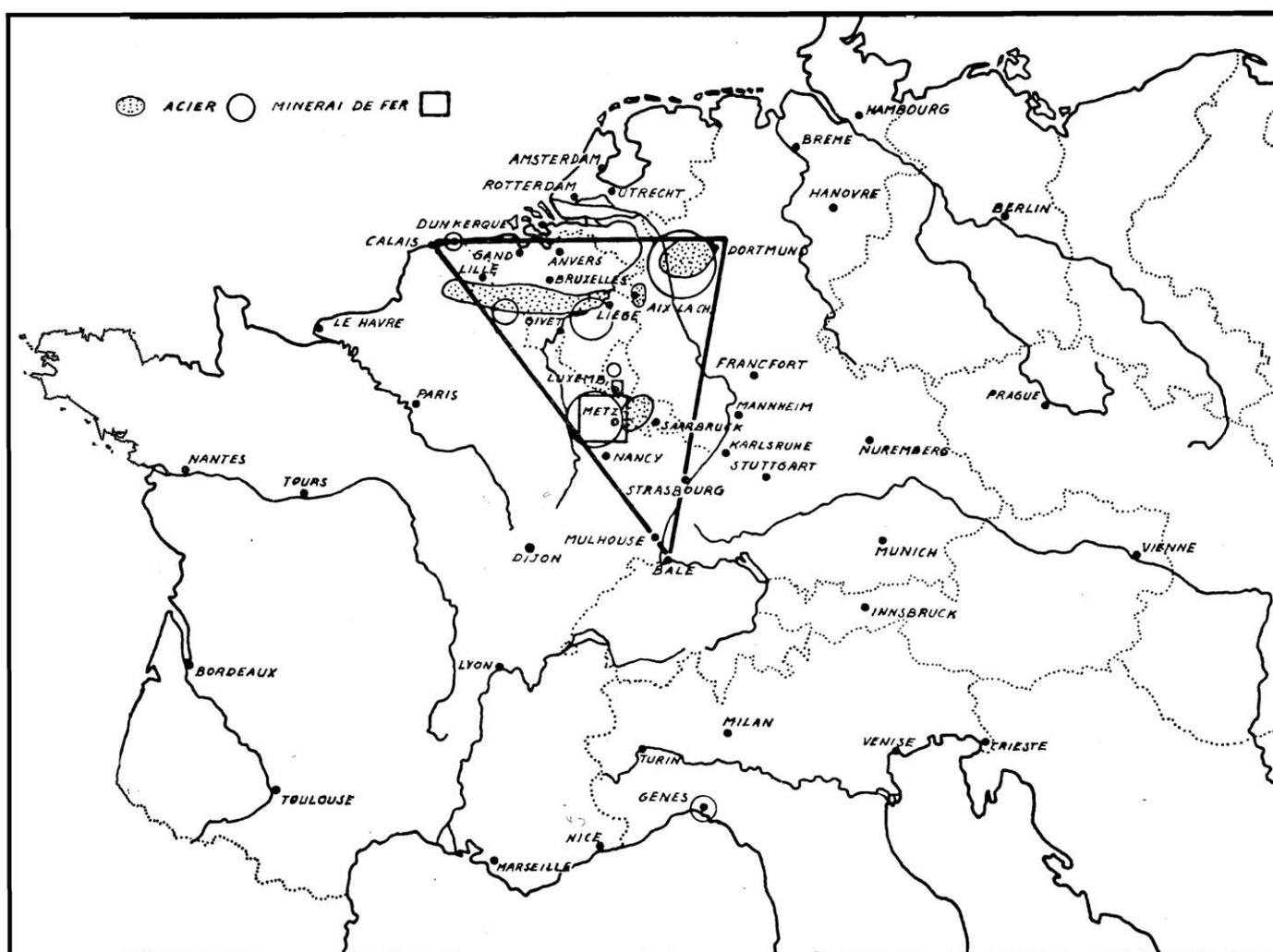
Colombey-les-Belles

Canal de la Moselle

Canal de la Marne

Canal des Houillères de la Sarre

échelle. De même que l'on a vu avec la Lorraine un complexe minier et industriel étroitement rassemblé, on voit que ce complexe s'inscrit à son tour très étroitement dans ce que l'on appelle le triangle de l'ensemble industriel européen. Voies naturelles et artificielles de pénétration irriguent ce triangle. Cette participation à un tout nous rassure immédiatement sur l'avenir d'une de ses parties tant que ses richesses minières ne sont pas épuisées.



Le triangle de l'industrie lourde européenne
(d'après *Les Actualités Industrielles Lorraines*)

Les idées génétiques et la paléo-géographie

Du point de vue genèse, nous sommes assez bien renseignés maintenant, grâce aux sondages de ces dernières années vers le centre du bassin de Paris, et aux investigations nouvelles dans le gisement exploité. La notion résumée ci-après est certes en désaccord avec des opinions, même imprimées parfois toutes récentes ; mais les faits sont des faits, imposant des conclusions logiques, rigoureusement scientifiques, et celles-ci sont donc vérifiables. Il est hors de doute que le gisement est marin : les plantes continentales que l'on y trouve parfois, sont apportées dans le bassin, de même que les restes de grands Vertébrés qui sont peut-être côtiers. L'oxyde de fer est un dépôt au même titre que les autres éléments de la série ; et ceci est prouvé de par le Monde en bien des autres gisements ferrifères, d'âges divers. Il n'est plus possible, comme moi-même le pensais au début de mes recherches, que le dépôt ferrifère soit sinon littoral, du moins sub-littoral, encore qu'on ne puisse préciser la nuance. C'est un dépôt de plateforme continentale, sous une tranche d'eau n'excédant pas quelques dizaines de mètres au maximum ; le milieu était très agité, fait reconnu dès le début, mais parfois très loin des côtes. Ceci aussi longtemps que l'adjectif littoral aura la définition que lui prête la langue française. Nous savons en effet maintenant par l'étude générale du bassin de Paris que ce type de sédimentation ferrugineuse, rigoureusement identique dans ses détails, se suit sur plusieurs centaines de kilomètres ; comme le littoral n'existe pas au voisinage, est inconcevable sur la base des faits établis, il y a deux solutions : le minerai est littoral en certains points ; il est de haute mer en d'autres ; cette complication pourrait procéder d'un esprit de conciliation entre géologues comme d'une complexité des faits naturels. Mais un fait nous oblige aussitôt à admettre qu'une condition unique de dépôt est en cause. Car nous connaissons des points du bassin ferrifère ou de ses bordures, où le littoral nous est accessible pendant la fin des temps toarciens. Le Massif Vosgien était probablement émergé en certains points pendant le Jurassique ; de même le Massif Ardennais. L'érosion nous empêche pour le Toarcien supérieur, du côté lorrain, de juger de l'évolution des faciès ; par contre, vers le Massif Ardennais, nous voyons rapidement à l'Ouest de Longwy que les minerais sont des véritables sables oolithiques pulvérulents, initialement non agglomérés ; les débris de silice sous forme de grains y sont très abondants, avec même des graviers ; plus à l'Ouest encore, nous voyons même des grès sableux, ferrugineux. Et l'existence assez proche d'un littoral est confirmée, sur l'axe de Montmédy, par une transgression du

Bajocien (lui-même incomplet à la base) reposant sur un Toarcien érodé ; ceci au point que l'Aalénien manque et le Toarcien supérieur homologue des couches exploitées en Lorraine. Nous savons donc ce que sont des faciès littoraux ou sub-littoraux. Et la flore et la faune nous apportent leurs renseignements propres. On citera ainsi l'abondance des Vertébrés dans ces secteurs proches du littoral, et notamment une tribu tout entière de Crocodiliens venue périr au voisinage de la frontière franco-belge, ces animaux ne pouvant vivre en pareil nombre en haute mer. Partout ailleurs les faciès sont différents (nous verrons dans un instant l'allure de la série type du gisement), se suivant égaux à eux-mêmes vers l'Est et le S.E. et très à l'Ouest, dans le sens d'extension des coulées ferrifères. Il est symptomatique de noter que, là où nous savons avoir existé une ride sous-marine à tendances d'émersion, balayée par des courants (l'axe anticlinal de Pont-à-Mousson), les faciès ne sont pas ferrugineux, ou le sont atrophiquement, devenant très détritiques et sableux, avec épaisseur des dépôts également très réduite.

Le faciès normal du Toarcien supérieur dans le bassin de Paris est donc celui des boues colloïdales gris bleu, riches en pyrite, chargées de très fins éléments sablo-micacés, leur conférant un aspect tigré. Les faciès ferrugineux, dont les lignes générales répondent à une disposition capitale : N.N.E.-S.S.O., soit une ligne hercynienne, de signification paléo-géographique, y apparaissent comme un apport jalonné, depuis un massif générateur.

La flore et la faune, celle-ci uniquement marine, nous sont connues ; des déductions basées sur l'étude des phénomènes actuels de sédimentation, nous apportent des précisions. Nous pouvons donc admettre sans difficulté que la paléo-géographie se brossait ainsi à la fin des temps toarciens, il y a 160 millions d'années environ. Les massifs anciens, dont nous ignorons l'allure du relief, mais certainement bordés par des étendues de moyenne altitude, étaient soumis à des variations climatiques, avec chutes de pluie plus ou moins violentes, coupées de périodes de sécheresse ; le climat était chaud sans être tropical. Des courants permanents modelés par des déformations du bassin marin de direction hercynienne (N.N.E.-S.S.W), direction qui est marquée profondément dans le socle anté-secondaire lorrain, amenaient loin de la côte des sels de fer en solution, outre les éléments détritiques propres. Nous connaissons des phénomènes de mise en solution actuelle des sels de fer dans les Vosges par exemple, avec précipitation par réduction à quelque distance du lieu d'origine. A partir de là, les diverses formes de combinaison des sels de fer sont aisément

explicables selon les détails éventuels, avec ou non modification chimique au cours de la longue histoire géologique de nos régions. L'engagement des oxydes de fer dans des oolithes n'a rien d'étonnant, et nous connaissons des mécanismes actuels de formation de la structure oolithique, avec même une ébauche d'oolithes ferrugineuses, dans des simples conditions de saturation d'un milieu aqueux, avec agitation faible de celui-ci. Il paraît très tentant de rechercher l'origine de ce fer dans la destruction des roches anciennes recouvrant des massifs émergés : Ardennes et Hunsruck, et massif Vosges-Schwartzwald. Il est très tentant de considérer les Grès des Vosges (plutôt que les roches cristallines elles-mêmes) ; des calculs simples, même entachés d'appréciations montrent que le manteau de grès détruit par l'érosion en direction de ces massifs est plus que suffisant pour expliquer le tonnage des sels de fer accumulés dans le gisement lorrain. Bien que le phosphore ait une origine bio-chimique indéniable, il n'est pas exclu de le voir issu de certains minéraux des roches cristallines et passé dans les grès triasiques, puis dans la minette lorraine. Il est totalement inutile de mettre en cause comme on l'a fait jadis, les séries argileuses du Lias, et celles du Trias supérieur, comme roche mère de l'oxyde de fer. C'est contraire à la paléo-géographie la plus élémentaire. De plus, il est hors de doute que les sédiments argileux des « Marnes irisées » étaient eux-mêmes, presque jusqu'à la ligne littorale de l'époque, recouverts par des sédiments plus récents, liasiques ; ils ne pouvaient donc être attaqués. Si une destruction du manteau végétal a eu certainement lieu par époques, elle n'est pas la raison déterminante de la mobilisation des sels de fer, tout au plus accessoire.

Les déformations du fond marin ont joué, avec les lignes de courants, dans la distribution des amas d'oxyde de fer liasiques. Ces déformations, loin d'être localisées, étaient au contraire très mobiles, si étrange que cela semble au premier abord.

Il est hors de doute que l'axe anticlinal hercynien dit Anticlinal Sarro-Lorrain, à noyau Carbonifère, ou Anticlinal de Pont-à-Mousson, a joué un rôle capital permanent. Il se marque d'ailleurs encore faiblement dans la tectonique des terrains jurassiques, preuve qu'il a rejoué très faiblement au Tertiaire lors de la formation des failles et rides excessivement faibles eu égard aux plissements alpins, pyrénéens ou même jurassiens. Pendant la formation du bassin ferrifère lorrain, cette ride formait un haut fond tendant à l'émergence ; mais, corrélativement, par effet de subsidence, c'est-à-dire enfoncement du fond marin sous une tranche d'eau d'épaisseur à peu près constante, mais avec comblement de la dépression

par les sédiments appelés, il se formait deux cuvettes symétriques. Au Nord, sur une ligne Ars-sur-Moselle - Longwy, l'axe étant vers Briey, la subsidence créait une dépression dont le coefficient de subsidence est de cinq à six fois celui de la dépression plus méridionale. Cette dernière se manifestait dans le bassin de Nancy, assez étroitement localisée. Ces phénomènes se traduisent très bien sur les courbes d'égaies puissances de l'étage considéré. Ainsi, pendant le même intervalle de temps, au Toarcien supérieur, il s'accumulait de cinq à six fois plus de sédiments au Nord de l'Anticlinal principal, qu'au Sud. Les quantités d'oxyde de fer vont de pair. Mais c'est une erreur de croire que l'oxyde de fer est plus abondant dans les axes de cuvettes. On a même dressé des cartes à iso-teneurs de l'oxyde de fer, non plus par couche, mais pour toute la formation. Il ne ressort rien de net, malgré évidemment des lignes privilégiées. Il faut laisser au hasard certaines dispositions de détail, ce hasard pouvant aussi bien être lié à des courants qu'aux détails des lignes de rivages, etc... Mais il est entendu que ce hasard n'est rien d'autre, à l'échelle du détail, que l'expression de notre ignorance de certains phénomènes, par ailleurs rigoureusement déterminés mais nous échappant.

A côté de ces déformations permanentes suivant un mouvement d'ensemble, soit positif, soit négatif selon le point considéré, il faut retenir des phénomènes excessivement curieux longtemps négligés dans la stratigraphie et dont j'ai montré toute l'importance pour le dépôt du gisement ferrifère. Liées à des modifications des lignes de rivages, donc à des transgressions et régressions, sans que la fosse subsidente ait elle-même été émergée, des perturbations profondes et généralisées ont secoué le bassin ferrifère. Elles sont cycliques, mais ne sont pas très nombreuses ; on connaît le même mécanisme dans d'autres étages de la série secondaire, par exemple de la même région. Des conglomérats, bancs coquilliers particuliers (par exemple les « champs de bataille des Belemnites » des auteurs allemands), associés ou non, parfois même des surfaces érodées et légèrement taraudées, en sont la manifestation. Elles couronnent le dépôt des couches majeures du bassin et traduisent donc des mouvements épirogéniques. On en retrouve la trace hors du secteur à dépôt purement ferrifère. Il est par contre strictement impossible d'invoquer ce phénomène, et de voir par exemple comme on l'a dit, jusqu'à douze transgressions au cours du Toarcien supérieur. Il n'y a pas de transgressions expliquant les changements lithologiques brutaux dans la série verticale correspondant à la formation ferrifère, autrement dit pour justifier la sédimentologie constatée. Si des déformations du fond marin très localisées et problématiques sont peut-être en cause, les simples variations des conditions locales

de sédimentation, physiques et chimiques, paraissent à elles seules tout expliquer. Il y a à ceci deux preuves. D'une part la fin du Toarcien supérieur serait la seule époque de toute l'histoire géologique de la série jurassique lorraine (et dans tout le bassin parisien), à montrer une telle complication ; non impossible, elle est donc insolite. Ce mécanisme devient totalement incompréhensible si on considère le bassin ferrifère tout entier ; une transgression liée à chaque couche confère des mobilismes différentiels de caractère fantastique ; il suffit de suivre l'allure lenticulaire et les changements de faciès brutaux, comme les effilements de faciès, en quelque sorte diffus, sur des profils longitudinaux, pour revenir à de plus solides réalités.

Il est excessivement intéressant de voir, à la fin des temps liasiques, la trace dans toute la Mésio-Europe, d'un profond bouleversement, marqué par des transgressions et régressions relatives au sein de la série considérée. Dans le bassin ferrifère la formidable irruption boueuse des « Marnes micacées » de la base du Bajocien, zone à *Hyperlioceras Discites*, suit d'importantes lacunes stratigraphiques, et remaniements intra-jurassiques. La ligne de contact est complexe ; nous vons ainsi un très faible niveau conglomératique (Conglomérat de Marbache) avec les faunes remaniées de plusieurs zones paléontologiques aaléniennes, couronner le minerai de fer oolithique, en sédimentation d'apparence continue. Ce conglomérat sera raboté, avec plan subhorizontal, couvert d'huîtres plates fixées et de trous de mollusques lithophages, formant une surface taraudée ou surface d'omission. Il ne s'agit pas d'une surface d'émersion, mais d'une surface de transgression de la base du Bajocien ; il y a eu émersion ou tendance à l'émersion, paroxysme du phénomène ayant marqué certains toits de couches (par exemple conglomérat du toit de la « Couche Noire ») ; tous les détails de l'émersion ont été impitoyablement effacés par la transgression bajocienne, fondement de l'établissement de la coupure entre Jurassique inférieur et moyen, pour une partie des spécialistes du moins. Est-il la peine de dire que, en pareil milieu, avec une transgression marine, il est totalement impossible d'avoir conservation de sols polygonaux fossiles (de tout autres phénomènes récents, sont en cause pour les figures observées), comme on l'a avancé. Ces sols polygonaux fossiles continentaux auraient une signification paléogéographique considérable, d'où la nécessité de souligner ce qui peut sembler un simple détail.

On notera encore que ces surfaces taraudées de la série jurassique, associées ou non à des conglomérats, ne peuvent en aucun cas correspondre à ce que l'on a appelé des « hards-grounds ».

Ces formations connues en océanographie contemporaine sont des fonds érodés et taraudés effectivement, mais sous l'influence de courants localisés. Or, nous sommes présentement en face de formations génétiquement différentes. Connues au même niveau sur des milliers de kilomètres carrés, retrouvées à des niveaux contemporains ou pénécotemporains sur les différentes ailes d'un bassin sédimentaire, elles sont liées à la tectonique (épirogénie : c'est-à-dire mouvements de faible amplitude ne conduisant pas à des plissements). Une dénomination impliquant un sens génétique faux est donc à proscrire : et il est à souhaiter que les « hard-grounds » évoqués dans certains manuels scolaires de géologie disparaissent promptement, dans le secondaire comme dans l'enseignement supérieur, d'ailleurs. Ces surfaces taraudées sont souvent ferrugineuses ; on notera que, contrairement à ce qui a déjà été affirmé pour celles terminant la formation ferrifère, il n'y a pas de précipitation directe de l'oxyde de fer marin. Il y a eu formation de sulfures de fer ; en effet, en forages, hors de la zone de circulation des eaux, on observe toujours une croûte pyriteuse et non limonitique.

En d'autres points, cette stratigraphie du contact Toarcien, Aalénien, Bajocien, est très complexe ; mais elle confirme la réalité des mouvements épirogéniques : des conglomérats d'âges différents sont superposés, des conglomérats phosphatés ont pu s'engendrer, des grès grossiers ferrugineux se sont parfois déposés. Inutile de dire que seule la stratigraphie, faisant appel à toutes les méthodes habituelles, à commencer par la biostratigraphie, est capable de clarifier les faits et brosser l'histoire géologique. Car, avec effarement, on a pu constater ces années dernières d'énergiques attaques par des lithostratigraphes, contre la biostratigraphie : en l'occurrence, il n'y aurait pas de stratigraphie paléontologique possible dans le gisement ferrifère lorrain. C'est affirmation gratuite, au mépris de tout ce qui est établi, au mépris aussi du fondement de la stratigraphie, avec absence de décantation des faits certains ou douteux dans des travaux d'inégale précision.

Le gisement lorrain

C'est peut-être le moment, avant de pénétrer plus avant dans l'examen du bassin ferrifère lorrain, pour garder cette notion à l'esprit pendant tout l'exposé, de nous demander ce qu'est un minerai. Et cette question n'est pas pour jouer les poseurs de paradoxe. C'est au contraire une donnée fondamentale en géologie minière et qui explique tous les problèmes économiques et natio-

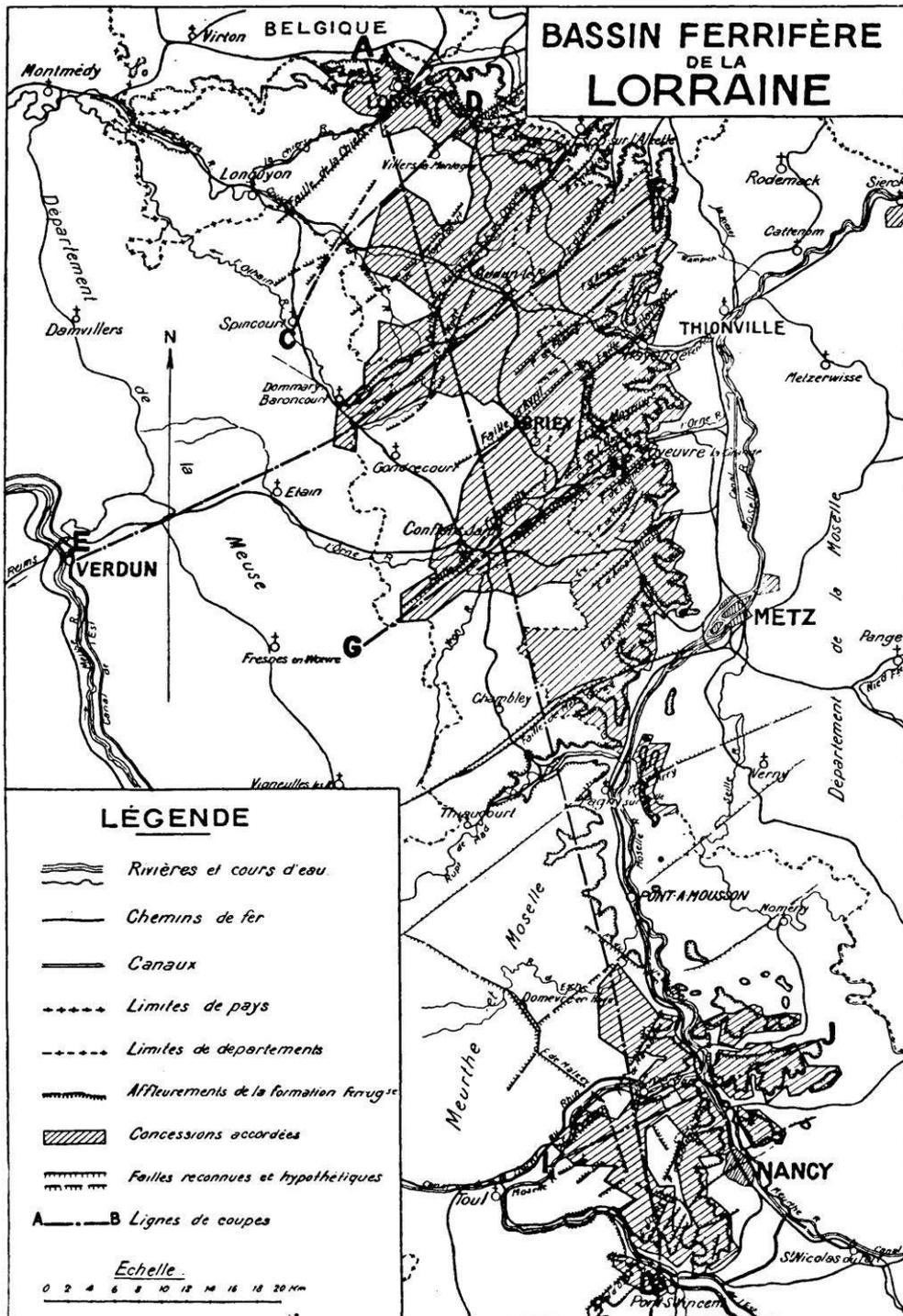
naux se greffant sur un gisement minier ou pétrolier, quel qu'il soit.

Un minerai est une concentration anormale d'un des éléments participant à la constitution du globe terrestre. La concentration moyenne du fer y étant de 4,18 % (c'est le clarke du fer), toute roche à plus d'un clarke est un minerai de fer potentiel. Il y a cependant loin de la théorie à la réalité. L'état chimique, ou physique de la substance, sa distance par rapport aux sources d'utilisation, le tonnage en cause, les paramètres physiques ou chimiques moyens du minerai extrait, les conditions d'exploitabilité, les possibilités d'enrichir ou de traiter économiquement la substance, la considération de toutes ces données de par le Monde pour les gisements connus, nous mènent devant un problème compliqué et décevant. Un minerai répond à une notion essentiellement mobile, régie avant tout par la disette ou l'abondance et les autres considérations économiques. Cette notion devra être considérée à plusieurs reprises, y compris quand nous aborderons celle de couches de minerai.

Mis à part la distinction fondamentale, sur des bases paléogéographiques, du gisement de Longwy-Briey, coupé par une zone de stérilité du bassin de Nancy, on a empiriquement divisé le gisement lorrain.

Les bassins de Longwy, Landres, Amermont, Tucquegnieux, celui de Jarny et de l'Orne (on a aussi évoqué un super-bassin, celui de Briey), celui d'Ars, flanquent au Nord la zone stérile de l'Anticlinal de Pont-à-Mousson. Cette partie septentrionale correspond d'ailleurs au prolongement en France du Synclinal de Luxembourg, dépression entre les Ardennes, anticlinales, et l'Anticlinal Principal Lorrain. C'est aussi le « Golfe de Luxembourg », étant entendu que ce golfe n'est pas une figure paléo-géographique mais le résultat de l'érosion depuis le Tertiaire, simple golfe dans la figure des affleurements. Le bassin de Nancy vient au Sud. Avec un nouveau secteur de stérilité intercalé, il montre une tache satellite minéralisée vers Sion-Vaudémont, correspondant à la butte-témoin bien connue. Une immense étendue stérile mène à l'axe morvano-vosgien, où des taches minéralisées se succèdent jusqu'au Jura, toujours à la même époque géologique. En moins d'une année de prospection, sur un objectif parfaitement établi et raisonné, j'ai pu, il y a deux ans, faire découvrir une formidable accumulation d'oxyde de fer au Toarcien supérieur, dans des zones non prospectées. On en est malheureusement très embarrassé : c'est le type même de minerai potentiel, pauvre, difficile à enrichir, défavorisé

par les conditions économiques. On ne peut prévoir quand il peut se révéler un jour une richesse minière, ni même si cela sera. Ces secteurs sont d'ailleurs riches en conclusions paléo-géographiques confirmatives, quant à la genèse des gîtes ferrifères, ni on considère le bassin sédimentaire tout entier, cela se conçoit.



Du moins dans le groupe de bassins septentrionaux, les failles principales servent à délimiter les bassins élémentaires, ceci plus

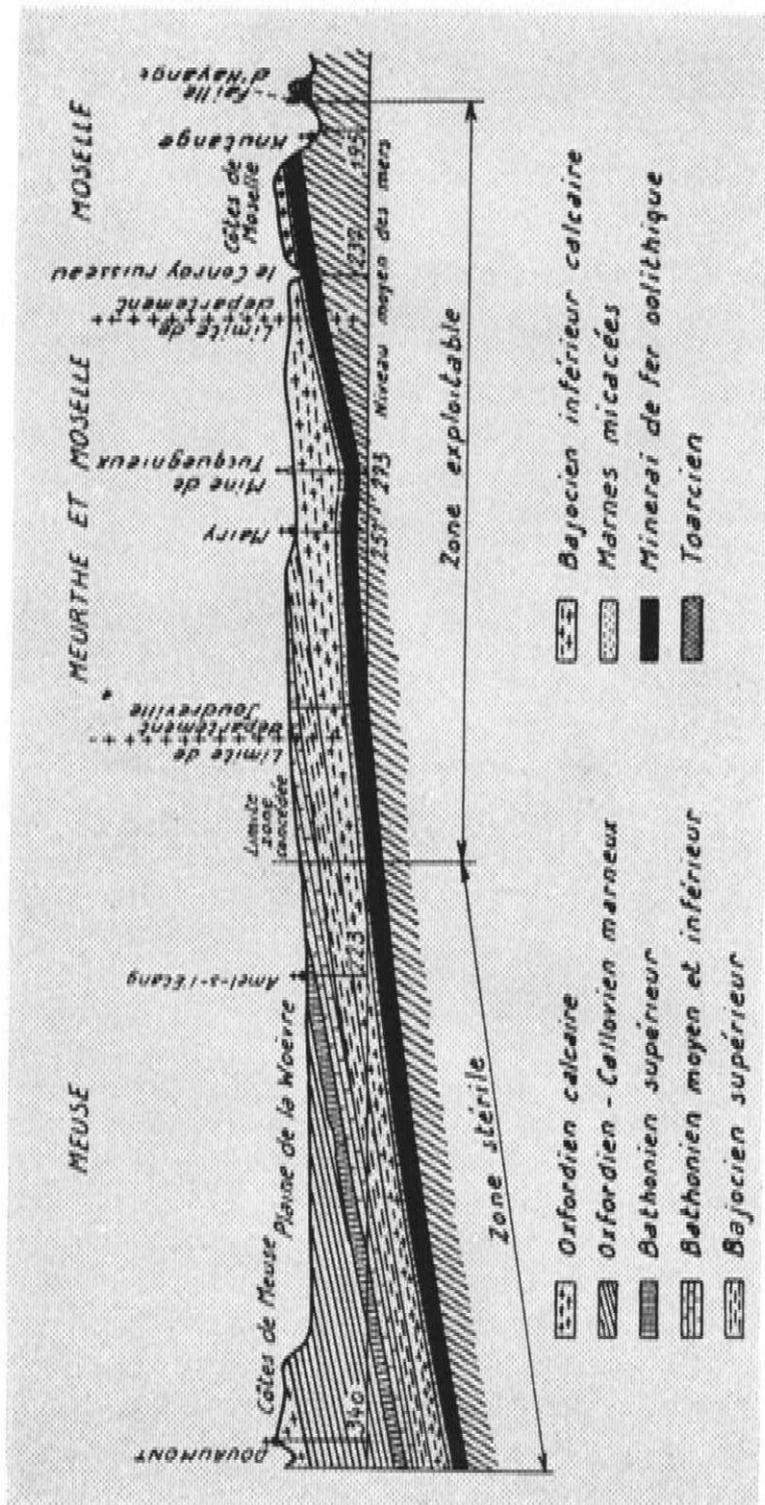
par les conditions minières d'exploitation ainsi déterminées que par des limites géologiques.

On rattachera tout naturellement au bassin ferrifère lorrain ses annexes arbitrairement détachées par le passage des frontières. D'une part, le gisement luxembourgeois, en tous points identique au gisement lorrain ; la plus grande partie y est prenable à ciel ouvert vu la configuration géographique ; la partie Est y montre comme en France (vallée de Volmerange) une diminution de puissance et une disparition des sels de fer. D'autre part, dans le Luxembourg belge, on trouve dans la région d'Halanzu-Musson, un groupe de quelques concessions sur le front de la cuesta bajocienne : les minerais y sont des sables oolithiques pulvérulents. Très vite, le gîte y disparaît vers l'Ouest, tant par diminution de puissance, amenuisement stratigraphique, qu'évanouissement de l'oxyde de fer.

Nous signalerons au passage qu'il existe deux buttes-témoins isolées, à une dizaine de kilomètres du front de la cuesta, celle de Delme et de Tincry, à hauteur de Pont-à-Mousson, au NE de Nomeny. Les faciès y sont très peu ferrugineux, la formation peu épaisse, le milieu toujours marin.

Ce gîte lorrain quasiment concédé dans toute l'étendue de son exploitabilité actuelle, part des affleurements, où il peut être exploité à ciel ouvert quand la géographie le permet, pour s'enfoncer doucement sous les morts-terrains, on l'a vu. Le gîte exploité ne va pas au-delà de 240-250 m à son point extrême dans la Meuse, vers Baroncourt. Les morts-terrains sont essentiellement calcaires pour le Bajocien, mis à part leur semelle argileuse de base ; quand le Bathonien existe, il est évidemment marno-calcaire, bien que calcaire vers Etain. Il y a donc dans ces morts-terrains des nappes aquifères parfois très importantes ; celle de base du Bajocien, au-dessus des « Marnes micacées » est régulièrement crevée par les dépilages et amène beaucoup d'eau dans les mines. Il s'y ajoute des circulations karstiques dans le massif bajocien fissuré, correspondant ou non avec des nappes véritables, mais se déversant aussi dans les travaux profonds. Dans certains cas, le captage de rivières souterraines véritables, sous le plateau si aride du Pays Haut, a permis à des mines de surmonter une situation excessivement délicate. Néanmoins, les mines de fer lorraines produisent beaucoup d'eau ; et sans ironie on a dit que certaines produisaient de l'eau bien plus que du minerai, et c'est vrai. En période de guerre, l'arrêt des pompages noie rapidement toutes les installations, bien souvent ; et on a vu aussi des cas, très rares heureusement, de coups d'eau catastrophiques, noyant des

mines en plein travail. L'existence de ces nappes aquifères a été longtemps un obstacle à l'expansion des exploitations vers l'Ouest. L'invention des méthodes de fonçage avec congélation du sous-sol a permis de foncer les puits, et ensuite l'injection du ciment est venue heureusement compléter ces solutions techniques.



Coupe géologique du gisement ferrifère lorrain sensiblement selon la ligne E-F, de la carte p. 23

L'allure de l'ennoyage du bassin est soulignée par le détail suivant : à Verdun, à l'aplomb des Hauts de Meuse, le forage de Belleville a montré le gîte ferrifère à 500 m de profondeur.

Indépendamment des deux déformations principales dans le sens de la subsidence, au cours du Toarcien supérieur, avec peut-être des petites déformations très localisées, le bassin ferrifère, comme toute l'auréole jurassique a reçu des déformations tectoniques au Tertiaire, comme contre-coup des plissements alpins. Son allure propre, originelle, a été modifiée profondément par l'émersion générale qui a suivi les temps secondaires, puis par ces plissements, — très faibles —, et les failles qui l'ont coupé, d'âge tertiaire.

Les failles sont le plus souvent de direction hercynienne, NNE-SSW correspondant à des lignes directrices profondes du bâti hercynien. Les failles de rejet le plus important (fréquemment quelques dizaines de mètres), se suivent sur des distances considérables, parfois depuis le Grand Duché de Luxembourg. Celle de Gorze naît à la frontière allemande et va jusque dans la Woëvre, longue de plusieurs dizaines de kilomètres.

Souvent ces failles sont de faible rejet : quelques mètres. Sauf cas exceptionnel, comme à Errouville, où l'on a presque des dressants sur un faible secteur, les couches restent subhorizontales au voisinage des cassures. Il n'y a pas de règle générale et les rejets sont indifféremment du côté Nord ou Sud. Toutefois, soit avec des zones hautes, soit avec des secteurs effondrés, on trouve souvent une série de cassures de même sens du rejet, soulignant un mouvement général. L'inclinaison des grandes failles est au maximum de quelques degrés, ce qui déplace faiblement le tracé au jour par rapport à celui au fond quand les morts-terrains sont épais.

De très rares failles plus ou moins obliques au système hercynien, donc radiales, se dessinent çà et là.

Il est clair que toutes ces cassures sont le résultat d'une adaptation d'un massif calcaire, rigide, à des déformations de grande envergure, avec très faibles plis. Hors de la zone concédée, des fossés étroits — système de doubles failles, avec panneau excessivement étroit, suivis sur de grandes longueurs — sont des effondrements du bord d'une lèvres de faille, béante, en massif calcaire ; il ne s'agit pas de deux rejets successifs. Ces cassures doubles confluent en profondeur à un niveau indéterminé (Lias, ou Trias, argileux).

Très rarement aquifère par elle-même, la formation ferrifère peut le devenir, l'eau circulant le long des failles ou diaclases. Il

existe en effet assez souvent des diaclases ouvertes, parfois calcifiées, cassures sans rejet, hachant irrégulièrement le Bajocien comme la formation ferrifère.

Le « fil de mine » est un sens de cassure préférentiel, résultant d'une anisotropie du massif calcaire par suite des efforts tectoniques subis par l'ensemble du bassin. Jadis il était très important pour les mineurs et touchait à l'art même des mines. Les ouvriers, aidés de rares outils, avaient un travail bien plus facile, un rendement de l'explosif meilleur, en profitant de ce « fil de mine ».

Les failles nous seront encore l'occasion de pourfendre quelques légendes à allure scientifique.

J'ai passé sous silence lors des idées génétiques sur le gisement, une théorie longtemps célèbre et vivace, d'autant qu'elle avait quelques apparences de vérité et émanait d'autorités géologiques ou minières.

Constatant un enrichissement du minerai au voisinage des failles, on avait bâti la théorie des failles nourricières. Pré-existantes à la formation ferrifère, ces cassures auraient rejoué et livré passage à des eaux thermales riches en oxyde de fer ; celui-ci aurait imprégné latéralement les couches. Tout, depuis la pétrographie, parle contre celà. Les enrichissements, y compris formation de magnétite au voisinage des cassures, sont récents, liés à des circulations d'eau d'infiltration, et à des réactions chimiques.

Les épaisissements de la formation constatés de part et d'autre de certaines grandes failles ont été interprétés, chose admise encore de nos jours, par certains géologues, comme une preuve de l'activité de ces cassures à la fin du Lias. Celà ne résiste pas un instant à un examen : les changements de puissance sont continus, bien que parfois rapides, de part et d'autre, de même que les changements de lithologie ; ils ne sont pas de règle générale. On peut tout au plus admettre que, sur certains passages actuels de failles, il existait des zones légèrement actives tectoniquement ; mais on peut tout aussi aisément penser que les failles tertiaires ont joué sur des zones critiques, précisément sur la base de paramètres mécaniques, dans des secteurs de changements de puissance, superposés à des lignes directrices profondes du socle, mobiles, elles.

On a pu aussi dire que des failles affectaient les morts-terrains et non la formation ou inversement, ce qui impliquait donc des cassures d'âges différents ; ceci résulte d'erreurs : des cartographies sommaires n'ont pas, en surface, reconnu des failles recoupées au fond : il n'y a donc pas de failles ayant joué pendant le seul

Toarcien terminal. Quant aux cassures affectant le Bajocien-Bathonien et pas le Toarcien terminal, reconnues sur le même principe vicié, les études précises montrent qu'elles existent dans toutes ces formations, les coupant, ou n'existent pas, mais jamais dans l'une et non dans l'autre.

Un dernier mythe est à pourfendre. Curieusement, c'est une sorte de résurrection contemporaine de la théorie des failles nourricières ; on comprendra donc que l'énergie à poursuivre des mythes pernicious ne relève pas de la lutte contre les moulins à vent dont la technique nous a été exposée par Cervantès.

Les couches riches et puissantes, donc la localisation des bassins montreraient une indubitable corrélation avec les grandes failles qui recoupent le socle et la couverture. Notons d'abord que l'on n'a strictement aucune preuve que les failles affectant le Secondaire ne s'amortissent pas avant le socle ; je les crois d'ailleurs allant jusqu'au socle, d'où le nom de failles directionnelles. Si une loi réside là, elle doit être immédiatement vérifiée dans le bassin ferrifère même. Or, la double faille de Gorze, probablement la plus importante par sa longueur, son rejet (une soixantaine de mètres), la certitude qu'elle correspond à un accident majeur du socle primaire (elle marque en gros la limite d'extension profonde du bord septentrional du bassin houiller sarro-lorrain du côté de Metz, comme je l'ai signalé), n'apporte aucune confirmation. C'est plutôt le contraire. Elle passe dans un secteur des plus indigents pour le tonnage total du fer contenu dans l'étage, à atrophie des couches et minéralisation indigente, plus une diminution considérable de la formation ferrifère en limite du bassin d'Ars. Les quelques concordances paraissant confirmer cette théorie sont loin d'être des généralités dans le bassin lorrain ; nous sommes en face de coïncidences pures et simples au sens des probabilités ; aucune loi sédimentologique ou métallogénique ne peut en être déduite.

Les couches

On l'a déjà vu, la puissance de la formation ferrifère oscille dans le bassin concédé, d'environ 60 m à 10 m, depuis les « Marnes micacées » bajociennes au « Grès supraliasiques » marquant le pied de la formation.

On a distingué depuis le début de l'exploitation du gisement et bien avant que les termes séquence ou cyclothème soient devenus à la mode près de certains géologues, une succession régulière de

couches composant deux termes ou faisceaux. A la base existe un faisceau siliceux et en haut un faisceau calcaire.

Le faisceau siliceux, avec ses homologues, est le plus étendu et existe dans tout le bassin concédé ; il se retrouve aussi, chronologiquement, très loin latéralement. Par contre, le faisceau calcaire est plus sporadique. Des changements de détail peuvent d'ailleurs exister : on connaît en plein faisceau calcaire des faciès siliceux dans la « Couche Grise », pourtant calcaire par excellence (par exemple à Dudelage dans le Grand Duché de Luxembourg) ; dans le bassin de Nancy d'autre part, le faisceau siliceux nous montre un faciès calcaire de la couche supérieure : j'ai prouvé de façon décisive qu'il n'y avait là aucun équivalent chronologique du faisceau calcaire des bassins septentrionaux. On connaît aussi depuis longtemps des faciès chloriteux dans le faisceau calcaire.

La subsidence peut plus ou moins affecter le faisceau siliceux ; mais elle jouera surtout pour le supérieur, calcaire. Celui-ci prend donc une allure d'immense lentille s'amincissant sur ses bords par manque de sédimentation. Mais il est à peu près certain, sinon prouvé, que l'érosion de la fin des temps aaléniens (au sens de la nouvelle échelle stratigraphique, donc à la fin du dépôt ferrifère), a raboté partiellement l'épiclive terminale ; selon le point considéré du bassin, l'élimination de sédiments sera plus ou moins importante. L'allure lenticulaire est le fait majeur. Et on conçoit la difficulté de trouver dans cet ensemble des surfaces isochrones, surtout celles valables dans tout le bassin.

Devant la difficulté des synchronismes, une classification fort sage, ne préjugant en rien, et laissant ouverts tous les synchronismes scientifiques ultérieurs, a été celle des BICHELONNE et ANGOT ; elle est encore employée. Une lettre est affectée à chaque bassin : par exemple L pour Longwy, S pour l'Orne, N pour Nancy ; et un numéro à chaque couche ; on a ainsi la couche L 1, L 2, L 23, etc... ; S 1, S 2, S 3, etc...

Empiriquement, les mineurs avaient reconnu, et emploient encore le plus souvent, une dénomination basée sur les couleurs ; de bas en haut : couches Verte, Noire, Brune, Grise, Jaune (avec Jaune Sauvage, Principale, Secondaire), plusieurs couches Rouges ; et même, non exploitée et correspondant strictement à l'Aalénien supérieur de la nouvelle échelle, une Rouge marno-sableuse, très capricieuse et ne facilitant pas la reconnaissance du toit réel de la formation dans les sondages ; j'en avais des exemples déroutants ces mois derniers dans le bassin d'Ars.

Il nous faut alors pénétrer dans la notion de couches et ne pas oublier les considérations antérieures sur ce qu'est un minerai.

A ciel ouvert, on peut prendre un tout venant à teneur moyenne en fer encore valable ; cela n'exclut pas la présence de plusieurs couches et d'intercalaires bien marqués. Souterrainement, il y a une hauteur en-dessous de laquelle on ne peut pas travailler. Teneur en fer, basicité du minerai, hauteur de couche, déterminent en fonction de la distance des usines, des normes d'exploitabilité. On considère généralement en travaux souterrains qu'il faut une hauteur de 2 m au minimum, avec 28 % de fer. La basicité est déterminée à l'analyse chimique et non pétrographique, par le rapport CaO sur SiO_2 : supérieur à 1,40 on a affaire à un minerai calcaire pour le sidérurgiste ; inférieur à ce chiffre, l'indice traduit un minerai siliceux. En principe, le minerai calcaire a une plus grande valeur sidérurgique à cause de la mise au mille de coke, moindre ; mais le minerai siliceux est nécessaire à la sidérurgie ; on peut d'ailleurs marcher uniquement avec lui, on a alors la marche acide. En général, la pétrographie confirme l'analyse chimique ; Mais il ne faut pas sous-estimer l'apport de SiO_2 issue des silicates et non du quartz clastique. Les autres éléments importants pour le sidérurgiste sont l'alumine, le phosphore et le soufre. On dose donc régulièrement Fe , CaO , SiO_2 , Al_2O_3 , P_2O_5 , et distingue souvent le fer ferrique et le fer ferreux. Le vanadium est très constant en traces, et sa récupération a laissé des véritables cauchemars aux sidérurgistes pendant l'occupation allemande.

Du point de vue pratique, en plus de la description lithologique ou pétrographique, on porte sur des graphiques l'analyse détaillée des différents bancs ; outre un découpage suivant les couches et stériles, des tranches plus fines peuvent être analysées au sein d'un banc minéralisé. A elle seule, la comparaison des différents profils est déjà un élément de reconnaissance des couches et de chaînages latéraux ; c'est évidemment un moyen primitif, une technique lithostratigraphique, depuis longtemps employée par les mineurs ; mais elle appelle beaucoup de prudence et doit être appuyée par d'autres recoupements.

Les minerais

Les minerais lorrains reflètent évidemment leur constitution minéralogique fondamentale. La disposition des minéraux selon la pétrographie, mène à différents types de minerais définis par une structure.

L'immense majorité des minerais lorrains présente une structure oolithique ou pseudo-oolithique. Si la diagenèse a pu modifier les roches primitivement déposées, il est hors de doute que l'oxyde de fer a été initialement engagé dans la structure oolithique, de même que les chlorites par exemple. Nous savons maintenant qu'il existe d'ailleurs des véritables calcaires oolithiques, sans oolithes ferrugineuses, latéralement aux minerais, en certains points du bassin ; ceci est très intéressant du point de vue genèse.

La limonite (oxyde de fer hydraté) de formule générale $Fe_2O_3 \cdot nH_2O$, est un des constituants majeur ; elle montre évidemment une série de minéraux bien distincts, rattachables à un groupe majeur. La limonite est suivie de près par les chlorites, silico-aluminates magnésiens de fer, de teintes vertes à vert noir ; alors que les minéraux du premier groupe ont des teintes rouge, brun rouge, jaune rougeâtre. Encore plus que les minéraux du groupe de la limonite, ceux formant les chlorites, constituent des sujets d'études pétrographiques toujours objet de discussions de détail. La sidérose ou carbonate de fer (formule : $(Fe, Mg, Ca, Mn)CO_3$) forme des petits cristaux dans les minerais où se sont produits des phénomènes de réduction, mais peut s'être déposée massivement. Le quartz est sous forme de silice libre, en grains clastiques, d'origine détritique ; il est assez curieux de voir qu'un pétrographe comme CAYEUX rompu avec l'étude des minerais lorrains, a pu dans ses traités magistraux, hésiter longuement à reconnaître cette origine détritique ; elle est pourtant normale eu égard à nos idées sur la genèse du gisement.

La calcite peut former des cristaux originels ou par redistribution ; mais le plus souvent elle constitue la trame microcristalline du ciment. A un haut degré elle participe aux débris coquilliers organiques.

Les silicates, très complexes, rentrent dans la constitution des marnes et argiles, formés surtout par des chlorites.

On trouve aussi des minéraux qu'il convient de signaler. Le phosphore d'origine essentiellement bio-chimique est encore à l'état très mal connu de combinaisons chimiques et organiques ; par exemple, les débris osseux et coquilliers sont riches en phosphates. Il a été reconnu aussi dans l'oxyde de fer des oolithes. La teneur moyenne de la minette est de 2 % ; et ce qui était jadis une gêne est devenue une richesse puisque ce phosphate passe, en fin des opérations sidérurgiques, dans les scories Thomas, source de phosphate très importante pour l'agriculture.

Hématite, magnétite, parfois pyrite et surtout marcassite, barytine, blende et galène, forment des petits amas sporadiques à l'état de curiosités minéralogiques, ou se concentrent dans des diaclases. Cependant, la teneur en blende et galène, d'origine peut-être bio-chimique, conduit à des teneurs moyennes constantes ; on retrouve ces corps dans les installations des hauts fourneaux, où des dégâts bien connus leur sont liés.

Pétrographiquement, on rencontre une série variée et continue de roches depuis les sables oolithiques non consolidés jusqu'aux calcaires oolithiques à suboolithiques et aux conglomérats ; oolithes, granules, fausses oolithes, graviers, ceux-ci ferrugineux ; grains de quartz ; débris coquilliers ; débris de feldspaths et de tourmaline rarissimes, varient les associations. Dans les minerais à sidérose, les grains de silice ont pu être plus ou moins corrodés par la sidérose et même disparaître totalement. En principe, les oolithes sont les plus riches en fer, et on connaît des teneurs jusqu'à 50 % : on conçoit que, dans les techniques d'enrichissement, l'objectif soit au niveau de l'oolithe ; même s'il reste du fer dans la partie éliminée, sous un état moins noble pour le sidérurgiste, la concentration en fer gagnée sur la partie traitée compense largement les opérations et la perte sur une fraction.

Les ciments sont en calcite, en limonite, en chlorite (alors verdâtres), ou argileux, avec éléments détritiques, et du mica et de la silice. Le ciment argileux peut être limonitisé. Parfois, le ciment est en sidérose. Les taches importantes de limonite peuvent exister, correspondant généralement à des moulages de débris organiques.

Les restes fossiles, rares débris de Vertébrés, mais surtout Lamellibranches et Céphalopodes marins, sont entiers ou à l'état de débris selon le caractère détritique de la roche : on a donc de véritables lumachelles. Celles-ci, associées à des ciments de calcite peuvent former ces stratifications obliques et entrecroisées témoignage indubitable de l'agitation du milieu générateur.

Plus ou moins sporadiques dans les bancs de minerai ou les intercalaires, à l'état calcifié, ou ferrugineux, les coquilles sont sous forme de moules internes ou de tests souvent en bancs coquilliers. Des conglomérats peuvent s'y associer. Ces lumachelles spéciales traduisent les mouvements épirogéniques que j'ai évoqués précédemment. Elles correspondent souvent aux « crassins » des mineurs ; ceux-ci entendent sous ce nom des bancs stériles coquilliers, marneux ou non ; un autre terme de leur jargon, d'origine germanique, lié à buch à cause de l'aspect feuilleté comme les pages

d'un livre, est « bouck » ou « bouch » : c'est un stérile à débit feuilleté.

Des lits et veinules argileuses, gris foncé, finement micacés, d'argile schistoïde forment des traînées ou stratifications obliques dans les couches : elles aussi témoignent de l'agitation des eaux : ce sont des accumulations irrégulières et locales, d'éléments colloïdaux entraînés dans le milieu.

Enfin, des restes de plantes, le plus souvent en empreintes sur des fonds argileux, sont rarement décelables ; le plus souvent ce sont des fragments de lignite pyriteux ou même de jayet ; gratuitement d'ailleurs, un auteur avait pensé, jadis que ce jayet provenait des « schistes cartons » de la base du Toarcien, exondés, et dont la pyrite était la roche mère de l'oxyde de fer du gîte lorrain ; cette hypothèse n'a pas tenu devant les faits.

Un terme de mineur que nous devons évoquer car il est courant, touche au minerai truité. Quand le minerai oolithique plus ou moins argileux présente des traînées argileuses verdâtres ou noirâtres, évoquant l'ornementation de certaines races de truites, on voit employer ce terme truité.

Du point de vue genèse, il est certain que les minerais à chlorite et sidérose, ayant cependant une trame oolithique, répondent à une origine par précipitation chimique prédominante. Ils peuvent d'ailleurs devenir très détritiques. Les autres couches ont une origine essentiellement détritique, fait attesté par la pétrographie de détail : après le dépôt de l'oxyde de fer, le milieu a été très bouleversé.

Pour en finir avec ce sujet, la notion de stériles nous ramènera à la notion de couches.

Quand le mineur ou le géologue faisant de la géologie appliquée déclarent une couche absente, cela ne signifie nullement qu'il y a une lacune stratigraphique, obligatoirement. L'absence de minéralisation ou la teneur insuffisante en oxyde de fer déterminent des limites de couche. On voit ainsi, dans une même concession, par exemple la « Couche Grise » diminuer obliquement de puissance, ou passer à des calcaires considérés comme stériles. Il est rare que le toit et le pied diminuent ensemble de puissance, mais le fait existe dans certaines couches. On conçoit que, pour des nécessités de l'exploitation (tenue du toit, cote de roulage, etc...), le mineur enlève un peu plus que la couche minéralisée intéressante, ou au contraire laisse du minerai au toit en cas de force majeure. Les couches au sens du mineur sont donc des

lentilles d'étendue variable ; même quand on a une couche continue en travers du bassin, comme la « Couche Grise », avec un certain recul celle-ci apparaît sous un aspect lenticulaire. Examiné dans son ensemble, dans le bassin ferrifère, le Toarcien supérieur nous montre donc une succession de lentilles superposées ou non, des minéralisations intercalaires pouvant exister entre deux couches de développement plus étendu.

La numérotation des couches avec des signes conventionnels, paraît donc la solution logique par excellence ; et la zonéographie de la formation sur la base des zones paléontologiques permet d'y tracer des divisions sûres, elles, avec surfaces isochrones. Elles seules permettent une véritable stratigraphie et de déceler les lacunes stratigraphiques. Il n'est ainsi pas du tout exclu que, pour le faisceau supérieur calcaire, dans un même intervalle de temps, une subsidence un peu plus accusée en certains points ait accumulé des couches qu'il serait vain de vouloir synchroniser à tout prix latéralement avec des termes terminaux du faisceau calcaire. Si les cartes minières donnent des courbes de niveau le plus souvent du pied d'une couche à cause du plan de roulage, du point de vue de la tectonique et de la stratigraphie classique, on conçoit qu'il n'y ait qu'une limite valable adoptée : celle du plan de contact du toit de la formation ferrifère (surface taraudée ou conglomérat) avec les « Marnes micacées » donnant un plan de référence certain, un zéro absolu dans les nivellements géologiques. On pourrait à la rigueur, mais ils ne sont pas toujours bien repérés ou évidents pour des causes diverses, prendre les niveaux conglomératiques et lumachelliques traçant les toits de couches, et se retrouvant même en l'absence de dépôt ferrifère : ce sont aussi de tels plans géologiques absolus de référence.

On conçoit que les couches considérées comme des stériles, ou intercouches si l'on préfère, puissent être, le plus souvent des marnes gréseuses, micacées, ferrugineuses. Elles peuvent être aussi des calcaires ferrugineux. Et la limite avec la couche exploitable est souvent loin d'être brutale, avec une diminution continue, plus ou moins rapide, de la teneur en fer.

Comme il existe, avec le faisceau calcaire supérieur, très souvent à faible teneur en fer, des tonnages énormes de calcaires ferrugineux pauvres, on conçoit qu'il y ait là un problème industriel : l'enrichissement éventuel d'un minerai à indice calcaire est un fait économique de grande importance.

Il existe d'ailleurs des études de géologie appliquée à base pétrographique, menées par l'Institut de Recherches de la Sidérur-

gie, organisme privé, pour essayer de valoriser les minerais lorrains. Ces études reposent sur l'application des techniques d'enrichissement, l'éventuelle invention de nouvelles, ou des perfectionnements, adaptées aux minerais lorrains. Ceci est corrélatif d'études pétrographiques détaillées. Le type de minerai variable pour une même couche selon le point de bassin, détermine la méthode de traitement. Par exemple, il y a bien longtemps que l'on connaît les variations de faciès de la « Couche Grise » ; si les couches inférieures surtout sont chloriteuses, on sait aussi depuis longtemps que la « Couche Grise » est également chloriteuse. La quasi totalité des faits était d'ailleurs établie avant ces recherches, des investigations de détail étant seules en cours dans le cadre de ces travaux. ce qui ne minimise en rien leur importance. Ils ont pris seulement un actualisme industriel qu'ils n'avaient pas par exemple au début de mes études dans le bassin ferrifère.

La situation économique

Il restera, pour avoir fait le tour d'horizon du gisement ferrifère lorrain, à aborder le problème de son avenir. Celui-ci nous mène tout droit à la question des réserves et pour finir, par un retour aux notions évoquées en tête de cet exposé, à des problèmes de géologie économique, d'évolution de la valeur des gisements.

En 1960, la production moyenne mensuelle des mines de fer lorraines était de 5.227.108 tonnes, avec une production française de fonte de 1.179.000 tonnes (890.000 pour les usines de l'Est) mensuelle. La production d'acier était de 1.440.000 tonnes par mois, dont 945.000 tonnes dans l'Est. En 1962, la moyenne mensuelle de production du minerai de fer était en Lorraine de 5.201.856 tonnes. Une fraction non négligeable de la production, de l'ordre de la moitié, était destinée à l'exportation : Belgique, Allemagne et Luxembourg, petit pays à industrie sidérurgique très poussée. Le phénomène contemporain est la baisse des exportations vers les clients étrangers, surtout belges.

A titre indicatif de ce que représente la production du gisement lorrain dans la production nationale, on notait en 1961, par exemple :

Total du minerai de fer français	66.145.726 t.
Dont, en Lorraine	62.082.952 t.
Dans l'Ouest (Normandie, Bretagne, minerais du Primaire)	3.759.424 t.
Et pour les quelques mines du Centre et du Midi.	303.350 t.

Toujours dans le domaine statistique, citons l'existence en Lorraine de dix-sept sociétés sidérurgiques, y compris les seuls fonderies et laminoirs ; deux d'ailleurs vont fusionner. Quatre-vingts hauts fourneaux sont actuellement en marche sur cent sept ; quatre-vingt cinq convertisseurs Thomas (la totalité) et vingt-huit fours Martin (sur trente-sept), y fonctionnent avec douze fours électriques et cinq appareils à oxygène pur (Convertisseurs OLP et Kaldo).

Les mines lorraines produisent toujours, depuis 1929, régulièrement un peu plus de 94 % du minerai extrait en France.

Le tonnage a, lui, été l'objet de fluctuations : en 1929, on extrayait 47.850.000 tonnes ; 30.950.000 en 1938 ; en 1959, on saute à 57.235.000 ; et encore plus : 62.725.000 en 1960 ; en 1961, on redescend à 62.400.000, remonte à 62.425.000 en 1962. Mais en 1963 on constate l'amorce d'une chute sensible avec environ 55.000.000 de tonnes. Ceci pour une cinquantaine de mines en activité.

Le personnel est composé, dans l'été 1963, de 18.475 ouvriers, 800 apprentis, 2.700 collaborateurs, 245 ingénieurs.

Le rendement fond par homme, a triplé, avec la mécanisation, de 1938 à 1962 (13,4 tonnes, dont 43,7 à l'abattage).

L'estimation des réserves du gisement lorrain est l'objet d'études constantes ; c'est un peu un serpent de mer dont on parle périodiquement ; il est vrai que les nouveaux sondages, au jour comme au fond, l'estimation plus poussée des études de détail conduisent à des révisions des chiffres. Depuis 1900, on a constamment vu repousser la date d'épuisement du bassin ; il n'est pourtant pas illimité. En Belgique, les réserves sont strictement connues, les quelques concessions en voie d'épuisement. Dans le Grand Duché, les réserves sont estimables avec assez de précision, et la portion du bassin est infime par rapport à l'ensemble.

Il reste de rares concessions vierges. Une des dernières estimations officielles divulguées avance le chiffre de 6 milliards de tonnes, à 30 % Fc minimum, dont moitié en minerai calcaire, moitié en siliceux. Le premier est le plus précieux et le plus exploité. Il s'y ajoute 1 milliard de tonnes de minerais pauvres enrichissables. Si les prévisions du Quatrième plan s'étaient réalisées en 1965, on serait arrivé à une production annuelle de 84 millions de tonnes, ce qui donnerait 70 ans de vie industrielle au bassin lorrain. Ceci laisse de côté les minerais potentiels actuellement

sans intérêt. Mais l'exploitation peut avoir entre temps compromis définitivement la reprise de ceux-ci en travaux souterrains.

L'exploitation des couches riches et puissantes tendant vers 40 % de Fe a autrefois gâché une partie du gisement ; on aurait pris maintenant une hauteur plus grande à teneur moyenne plus faible. Il est rare que plusieurs couches soient simultanément superposées. On a exploité plus les minerais calcaires que les siliceux. Les efforts ont porté aussi, en période d'exploitation manuelle sur les couches puissantes (certaines ont jusqu'à près de 8 m de hauteur exploitable). Il importe donc de tirer un enseignement du passé en fonction de l'avenir et de l'évolution de la situation. Ceci montre la complexité des problèmes.

On a tout naturellement, les géologues du moins, et surtout ceux taxés de vues enthousiastes (il y a loin des théories géologiques aux réalités industrielles !) cherché à savoir ce qu'il advenait du bassin lorrain plus à l'Ouest. Une modeste campagne de travaux sous les Hauts de Meuse a eu lieu à ce propos il y a 13 ans ; un sondage audacieux et isolé avait tenté d'aborder le problème à Verdun au début du siècle, en cherchant aussi du charbon. Mal étudié, d'ailleurs, il n'avait pas livré tous les renseignements qu'un tel ouvrage aurait dû donner.

Il est curieux de noter un détail historique montrant l'importance de l'étude géologique des sondages. On a déjà vu des couches de minerai, notamment dans les faciès non oolithiques des bancs inférieurs, à sidérose, échapper aux sondeurs et n'apparaître qu'après analyse chimique continue sur le diagramme. C'est le prolongement même du bassin ferrifère avec la découverte du bassin de Briey, qui fut mis en cause au début du siècle. Dans la région de Sancy à Avril, en 1882, quatre forages historiques, mal étudiés, implantés pourtant dans la partie la plus riche du gisement, faisaient conclure à la réalité de la théorie des affleurements. La découverte du bassin de Briey (1893-1898) était reculée de plusieurs années et une page de l'histoire lorraine eût pu être différente.

Au passage, il est à noter que la seule technique d'investigation sur le gisement lorrain est celle des forages, menés du jour, ou encore à titre complémentaire, dans le sens ascendant ou descendant, en galeries. L'expérience a donné le nombre de trous nécessaires pour reconnaître à grandes mailles, puis à l'échelle du détail, le caractère des couches recherchées ou décelées.

L'exploration pétrolière du bassin de Paris, certains sondages traversant tout le Lias, allait à partir de 1953 nous offrir des possi-

bilités inespérées ; bien que le plus souvent non carottés, ces sondages par leurs déblais, permettaient des observations ; dans certains cas, il y eut des carottages spécialement demandés pour les mines de fer. Une bonne partie des documents a été divulguée lors d'une étude synthétique que j'ai faite, en tenant compte de tous les forages récents à la périphérie du bassin lorrain.

On ne peut pas ne pas être frappé par l'immense étendue vierge de tous travaux, encore aujourd'hui, qui s'inscrit dans le secteur où nous connaissons le type de sédimentation du bassin ferrifère concédé. Il est hautement intéressant de remarquer que les indices ferrugineux rencontrés donnent aussi la direction générale des coulées ferrifères du gîte concédé. Nous avons là une ligne directrice et des objectifs d'exploration, dans une étendue égale à la surface du bassin actuellement connu. La brutale surabondance des minerais de fer ne semble pas devoir de si tôt permettre cette exploration ; l'arrêt de l'exploration pétrolière du bassin de Paris ne semble pas non plus nous laisser espérer des renseignements fortuits sur ce secteur. Le problème reste donc entier et probablement pour longtemps.

Il ne faut pas oublier un instant que la minette lorraine est un minerai pauvre : on exploite des teneurs autour de 30 % actuellement. C'est là la clé des problèmes économiques qui assaillent le gisement lorrain depuis une année. De par le Monde, il existe des gisements de minerai de fer, considérables, avec des teneurs de l'ordre de près du double en fer.

On conçoit que l'enrichissement des minerais de fer lorrains soit très tentant. S'il est techniquement possible, il n'a pas jusqu'ici permis de produire économiquement un minerai traité concurrençant les minerais bruts riches, étrangers.

Car, brutalement, depuis moins de deux années, une situation économique nouvelle est née pour le gisement ferrifère lorrain. Au lendemain de la dernière guerre mondiale régnait une hantise de manquer de minerai de fer de par le Monde. Il apparaissait fondamental de préserver au maximum les réserves du gisement lorrain et de trouver des extensions exploitables. Or, la technique évoluant de façon foudroyante, a élargi les bases d'approvisionnement : exploitations mécaniques, à ciel ouvert en carrières gigantesques, transport à travers les déserts, etc..., ont vu le jour. Vers 1957, on a commencé à disposer de frets libres, sur les mers, en tonnages considérables ; et, simultanément, furent créés les cargos minéraliers. En 1950, les minéraliers jaugeaient 10.000 tonnes de marchandises en lourd ; actuellement 30.000 tonnes sont la mesure

courante ; et voici que les Japonais terminent des minéraliers de 100.000 tonnes passées. Le chargement est très aisé, le personnel réduit ; la distance ne joue plus, à un millier de kilomètres près. Les transports continentaux sont écrasés par cette concurrence. Ainsi, le coût du transport d'une tonne de minerai européen, le plus souvent à faible teneur en fer, coûte autant pour quelques centaines de kilomètres, sur le continent européen, que par bateau sur quelques milliers de kilomètres.

Et voici que les découvertes accrues de gisements riches relèguent brutalement le gisement lorrain à des places inférieures dans l'échelle des réserves mondiales. C'est un peu plus de la centième partie des réserves mondiales qui sont représentées actuellement par le gîte lorrain concédé, ses extensions éventuelles mises à part. Avec les seuls minerais dépassant 30 % en Fe dans le Monde, il y a 140 milliards de tonnes de fer pur en réserve ; pendant près de 400 ans les hauts fourneaux du Monde entier, actuels, ont de quoi s'y approvisionner. En ajoutant les minerais enrichissables, on double cette durée : 800 ans. Un simple exemple, déjà dépassé dans la réalité de ces détails, concerne les réserves brésiliennes, en des endroits d'accès certes difficile, mais où les problèmes d'urbanisme de nos pays à vieille civilisation ne se posent pas. Ces années dernières, on y estimait à 20 milliards de tonnes minimum les minerais à 60 % de Fe, et 50 milliards ceux à 30 % (*). Le Vénézuéla se place modestement avec 2,2 milliards de tonnes de minerai riche. Chili et Pérou ont respectivement 3 et 1 milliards de tonnes de réserve. Sahara et Mauritanie ont livré des gisements dont la portée, non négligeable, n'est pas celle qu'on a cru pouvoir annoncer dans la grande presse en parlant du bassin lorrain. Asie et Chine restent des mystères, mais des gîtes considérables y existent à peu près sûrement. L'Inde a peut-être les plus formidables réserves du Monde, en cours de recensement. On parle, chiffre déjà dépassé, de 20 milliards de tonnes à plus de 60 % en Fe ; 85 milliards de tonnes à 30 % ; exportation et exploitation débutent. L'Australie entre dans la compétition : déjà 13 milliards de tonnes sont recensées.

C'est un vieux monde qui craque sous la poussée du développement industriel général, des prospections qui ne font que

(*) Reçue après cette conférence, l'étude, publiée par le *U. S. Geological Survey* concernant le minerai d'Itabira, donne les chiffres suivants : Hématite, 639 millions de tonnes à 67-68 % de Fer ; Itabirites enrichissables, 1.734 millions de tonnes à 45-50 % Fe ; total Fe métal contenu, 1.450.000.000 de tonnes.

commencer, des techniques nouvelles, des révolutions dans les transports.

Pour celui qui n'est que spectateur, tel un économiste froidement installé dans son bureau, ce sont des fluctuations tout à fait normales, inévitables.

Pourtant, il est hors de doute, et je vous ramène au fameux triangle de l'industrie lourde européenne, que le bassin ferrifère lorrain jouit d'une situation extraordinairement privilégiée. Les usines sont nées sur des gîtes restreints, disparus, plus riches. Le voisinage d'un important bassin charbonnier (terrains carbonifères) a favorisé l'expansion industrielle lorraine. On a vu que le centre industriel lorrain est un complexe aux termes souvent complémentaires. On a vu aussi que les voies de communications naturelles ou artificielles, favorisées par les vallées, desservent admirablement cet ensemble. Il est vrai que des aménagements et modernisations de ces voies, surtout fluviales, sont réclamées à très juste titre par les industriels lorrains.

Il n'est certes pas question d'arrêter l'exploitation de ce magnifique gisement, toujours d'importance mondiale. Pourtant, les faits sont là, celui-ci a perdu de sa pré-éminence, moins par diminution des réserves que par l'évolution inévitable de l'économie et des techniques. Voit-on encore de nos jours des tractions hippomobiles ? Le problème est le même.

Nous retrouvons la notion de l'évolution de l'intérêt éventuel des gisements.

Il est fort probable, tant que l'on n'aura pas trouvé des techniques économiquement valables, pour bonifier considérablement la teneur des minerais lorrains, que, aujourd'hui, on n'établirait pas un complexe industriel sur le bassin lorrain. Tout au plus, comme en Luxembourg, et dans le Nord du bassin, ce serait contre les seuls gisements prenables à ciel ouvert. Heureusement pour le destin minier de la Lorraine, l'infrastructure usinière ne peut être supprimée ou déplacée.

La Nature crée des amas de richesses minérales ; l'Homme en a besoin ; le Géologue les découvre ou aide à les découvrir, permet au moins d'en parfaire l'étude ; l'évolution inexorable de l'économie mondiale, liée à la découverte de nouveaux gisements et de nouvelles techniques, peut valoriser comme dévaloriser un gisement. Les petites fluctuations que subit l'exploitation du gisement lorrain ne signifient en rien qu'il perdra de son importance nationale. Un gisement de substance utile quelle qu'elle soit, à l'intérieur des frontières d'un pays suivant le mouvement industriel reste toujours un fondement inébranlable de sa prospérité.

BIBLIOGRAPHIE

- BERNARD (A.), BUBENICEK (L.). — Remarques sur les séquences sédimentaires de l'Aalénien de Lorraine.
C. R. Acad. Sc., 16 mai 1960, pp. 3353-55, t. 250.
- BICHELONNE (J.), ANGOT (P.). — Le Bassin ferrifère de Lorraine.
Commission d'Etudes géologiques du Bassin Lorrain, 1939, 1 vol.
Texte : pp. + Atlas.
- BORCHERT (H.). — Genesis of Marine Sedimentary Iron Ores.
Transactions of the Institution of Mining and Metallurgy, vol. 69, 1959-60 (1960), pp. 530-539.
- BUBENICEK (L.). — Conditions paléo-géographiques de formation de la minette lorraine.
C. R. Acad. Sc., 2 octobre 1961, pp. 1468-69, t. 253.
- Recherches sur la constitution et la répartition des minerais de fer dans l'Aalénien de Lorraine.
Sciences de la Terre, Nancy, 1961, t. VIII, nos 1-2, pp. 5-204, 16 pl. h-t.
- Les paragenèses des minerais lorrains.
Rev. Industrie Minérale, juillet 1963, V. 45, n° 7, pp. 1-28.
- BRAUN (Horst). — Zur Entstehung der marin-sedimentären Eisenerze.
Zeitsch. f. Erzbergbau und Metallhüttenwesen, dez. 1962, H. 12, pp. 613-672, Bd. XV.
- CAILLÈRE (S.), KRAUT (F.). — Les gisements de fer du bassin lorrain.
Mém. Museum national Hist. Nat., sect. C, t. 4, f. I, 1954, 1 vol.
- CAYEUX (Lucien). — Les minerais de fer oolithiques de France.
F. II, *Minerais de fer secondaires*, 1 vol., 1922, Paris.
- ERHART Henri. — Sur la genèse de certains gîtes miniers sédimentaires en rapport avec le phénomène de bio-rhexistasie et avec des mouvements tectoniques de faible amplitude.
C. R. Acad. Sc., 8 mai 1961, pp. 2904-2906, t. 252.
- Sur la genèse de certains gîtes sédimentaires de fer.
Ibid., 24 mai 1961, pp. 3307-3309.
- MAUBEUGE (Pierre L.). — Paléo-géographie du bassin ferrifère lorrain.
Bull. Technique Mines de Fer de France, 2° trim. 1949, n° 15, 6 pp., 1 tabl. (Résumé Congrès Géol. International, session 1948, part. XIII, 1952, p. 287).
- Observations géologiques dans l'Est du Bassin de Paris. (Terrains triasiques moyens supérieurs et jurassiques inférieurs moyens).
2 vol., Nancy, 1955, 1082 pp., LVIII tabl. (*Bibliographie complète sur le bassin ferrifère lorrain, à cette date*).
- Les données actuelles sur la tectonique pendant le Jurassique dans l'Est du Bassin de Paris. Relations avec la sédimentation et conséquences pour la recherche des hydrocarbures.

Congrès Géologique International, session Mexico 1956 (imprimé 1957, diffusé 1961), sec. V, t. 1, pp. 152-167.

- Les données récentes sur l'Aalénien hors de la zone concédée du Bassin ferrifère lorrain.
Bull. Technique Mines de Fer de France, 3^e trim. 1957, n^o 48, 16 pp., 1 carte.
 - Les dragées calcaires des mines de fer lorraines. Un mécanisme actuel de formation de la structure oolithique.
2 pl., *Service géologique de Luxembourg, livre mémorial M. Lucius*, 1964.
-