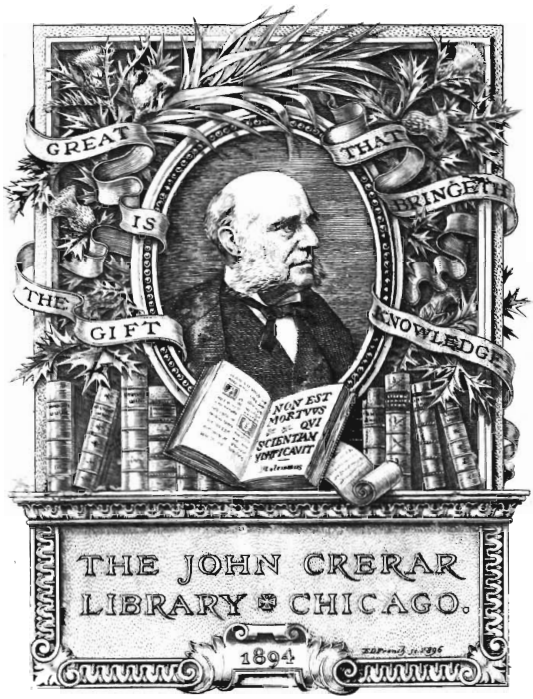

GREAT IS THE GIFT THAT BRINGETH KNOWLEDGE
NON EST MORTVVS QVI SCIENTIAM VIVIFICAVIT
THE JOHN CRERAR LIBRARY CHICAGO.
1894

Matériaux pour la Géologie de la Suisse
publiés aux frais de la Confédération par la Commission géotechnique
de la Société helvétique des Sciences naturelles.

Texte explicatif de la Carte
des
Gisements des matières premières minérales
de la
SUISSE
1 : 500 000

I. Charbons. — Asphalte, Pétrole, Gaz naturels, Schistes bitumineux. II. Sels. III. Minerais.

— Avec trois planches —

Edition française
par le
Dr. C. Schmidt
professeur à l'Université de Bâle.

Publiée à la demande du Département fédéral de l'Intérieur par la Commission géotechnique de la Société helvétique des Sciences naturelles.

Prix de la carte avec „Texte explicatif" Fr. 18 —.

En commission chez **A. Francke,** Berne.

Bâle
Imprimerie Emile Birkhaeuser & Cie.
1920.

Matériaux pour la Géologie de la Suisse
publiés aux frais de la Confédération par la Commission géotechnique de la Société helvétique des Sciences naturelles.

Texte explicatif de la Carte
des
Gisements des matières premières minérales
de la
SUISSE
1 : 500 000

I. Charbons. — Asphalte, Pétrole, Gaz naturels, Schistes bitumineux. II. Sels. III. Minerais.

— Avec trois planches —

Edition française
par le
Dr. C. Schmidt
professeur à l'Université de Bâle.

Publiée à la demande du Département fédéral de l'Intérieur par la Commission géotechnique de la Société helvétique des Sciences naturelles.

Prix de la carte avec „Texte explicatif" Fr. 15. —.

En commission chez **A. Francke,** Berne.

Bâle
Imprimerie Emile Birkhaeuser & Cie.
1920.

L. O.

Préface de la Commission Géotechnique.

Conformément à son programme de travail, approuvé le 10 mai 1899 par le Conseil fédéral, la Commission géotechnique décida, le 23 juin 1900, la publication d'une Carte des matières premières minérales de la Suisse en trois livraisons, accompagnée d'un court texte explicatif (comme réédition de la „Karte der Fundorte von Rohprodukten in der Schweiz von J. Weber und A. Brosi, 1 : 500 000", 1884).

Les trois cartes devaient renfermer:

1. Les gisements des matériaux de construction dont l'emploi ne nécessite aucun traitement chimique (calcaires, marbres, grès, ardoises, schistes cristallins, roches éruptives, pierre ollaire, asbeste, etc.).
2. Les gisements des matières qui exigent un traitement chimique (gypse, calcaires à chaux, matériaux pour ciment et calcaires hydrauliques).
3. Les gisements des tourbes, charbons, asphalte, etc., sel gemme, minerais.

D'autre part il rentre dans les devoirs de la Commission de publier des monographies sur les matières premières minérales. Il a paru jusqu'à présent les monographies concernant les marais tourbeux, les argiles, les roches de construction, les charbons de la molasse, les charbons postcarbonifères des Alpes et enfin la molasse pétrolifère (Matériaux pour la géologie de la Suisse. — Série géotechnique, livraisons I—VII).

L'élaboration de la carte des gisements des matières premières minérales de la Suisse: „No. 3, Charbons-Asphalte, Sels et Minerais", fut confiée à M. le Dr. C. Schmidt, professeur à l'Université de Bâle. Depuis 1901, M. Schmidt a poursuivi ces études, en préparant avec la carte au 1 : 500 000 un texte explicatif qui, avec cartes spéciales et coupes géologiques, devait donner une vue d'ensemble avec bibliographie.

Au commencement de 1917, la publication de la carte des gisements des matières premières minérales de la Suisse

554.94
S001
505495
239713

concernant l'industrie minière proprement dite devint urgente, et la Commission décida la publication d'un texte tout à fait condensé. sans illustrations et sans documentation bibliographique.

Cette „Karte der Fundorte von mineralischen Rohstoffen in der Schweiz, 1 : 500 000 (Kohlen etc., Salze, Erze), mit Erläuterungen", parue le 30 mars 1917, a rendu service au pays.

Grâce à l'initiative de M. le Conseiller fédéral Dr F. Calonder, alors chef du Département de l'Intérieur, la Commission géotechnique fut chargée le 17 décembre 1917 de préparer une traduction française des „Erläuterungen" accompagnant la carte. En collaboration avec M. Schmidt, M. le Dr A. Jeannet, alors adjoint de la Commission géologique, à Zurich, et M. le Dr H. Matthey, à Bâle, se chargèrent de ce travail.

Depuis le printemps 1917, les nombreux travaux miniers entrepris par les autorités de même que par les particuliers ont considérablement augmenté nos connaissances sur les gisements minéraux de la Suisse.

Nous sommes heureux d'être restés en étroit contact avec la plus grande partie des entreprises officielles et privées; car dans cette „Edition française" nous sommes en mesure de corriger et de compléter de nombreux renseignements publiés dans le premier texte allemand. Si l'exposé de 1916/1917 ne pouvait donner, en gros, que l'image du développement lent et continu de plusieurs entreprises, ou de l'état stationnaire de la plupart, la présente „Edition française" doit tenir compte aussi du développement des efforts miniers accomplis en Suisse pendant ces trois dernières années, et cette circonstance justifie largement l'augmentation du texte de 76 à 256 pages, ainsi que l'adjonction de 3 Planches.

Pour l'exactitude de la carte et du texte, l'auteur est seul responsable.

Pour la Commission géotechnique
de la Société helvétique des Sciences naturelles:

Le président:	Le secrétaire:
Dr. *U. Grubenmann*, prof.	Dr. *E. Letsch.*

Zurich, 1920.

Préface de l'Auteur.

L'étude des gîtes minéraux relève de la minéralogie et de la géologie, qui en examinent, la première les éléments constitutifs, la seconde le mode d'apparition. Le caractère de la position géologique du gîte et la façon dont les matières s'y associent indiquent sa genèse. Les conditions primaires d'utilisation d'un gîte ne peuvent jamais être déterminées qu'en se basant sur des recherches méthodiques approfondies.

Notre „Texte explicatif de la Carte des gisements des matières premières minérales de la Suisse" donne une description sommaire des gisements suivants:

I. Charbons, asphalte, pétrole, gaz naturels, schistes bitumineux.
II. Sels.
III. Minerais.

L'étude des gîtes minéraux est tout naturellement en étroite relation avec les recherches sur la géologie du pays et ainsi la longue série des cartes et des textes publiés, depuis 1860, par la „Commission géologique de la Société helvétique des Sciences naturelles" renferme en grande abondance de précieux renseignements. — A certaines occasions (édition de dictionnaires ou de manuels, congrès, expositions nationales), on a souvent tenté de décrire les gisements de matières premières minérales de la Suisse[1]).

C'est spécialement à l'occasion d'expositions nationales suisses qu'on prit l'initiative d'une représentation d'ensemble de l'industrie minière helvétique: En 1883 parut à Zurich une „Karte der Fundorte von Rohprodukten in der Schweiz" au 1 : 500 000, par J. Weber et A. Brossi, avec texte: „Rohprodukte und deren Fundorte in der Schweiz", par H. Streng (Zeitschr. f. Schweiz. Statistik, Bern 1884). — A Genève en 1896, M. le prof. L. Duparc, président du groupe 27, dressa une „Carte des gisements de matières premières" au 1 : 100 000, et publia une brochure: „Notice sur les exploitations minérales de la Suisse" (Genève, Philippe Dürr). (Voir Exposition nation. suisse. Genève 1896, Rapport technique. Groupe 27. „Rohprodukte und deren erste Verarbeitung. Berichterstatter: C. Schmidt, Basel.") — A Berne en 1914, le groupe 8 a été réservé aux „Mines, matières premières minérales". Alors qu'en 1896 on avait été obligé de faire appel à l'initiative privée pour réunir les matériaux nécessaires au groupe des „Mines", en 1914 on put utiliser en premier lieu les travaux de la „Commission géotechnique suisse". Dans son rapport au jury, M. le Dr. H. Preiswerk, professeur à l'Université de Bâle, donne une description détaillée de l'exposition du groupe 8 (voir: Schweiz. Landesausstellung in Bern 1914. Fachberichte, 8. Gruppe, Zürich 1916).

La Commission géotechnique de la Société helvét. des Sciences naturelles, fondée en mai 1899, avait comme premier devoir prescrit: Révision et compléments à la carte des matières premières de la Suisse avec texte explicatif.

---

[1]) Voir: 1. Dictionnaire géographique de la Suisse. Vol. V. 1908, p. 451—473. Prof. Dr. H. Schardt. Produits minéraux, roches, terres, minerais.
2. Handwörterbuch der Schweiz. Volkswirtschaft. Sozialpolitik und Verwaltung, herausgegeben von N. Reichesberg, Bern 1907, Bd. III, 1. Montanindustrie, p. 91—154.
a) Asphalt. C. Schmidt. b) Kohlen. L. Wehrli. c) Steinbrüche. J. Erb. d) Steinsalz. C. Schmidt. e) Ton. L. Wehrli. f) Erze. C. Schmidt.
3. International Geological Congress, Stockholm 1910: The Iron Ore Resources of the World. Bd. I, p. 105—140. C. Schmidt. Bericht über die Eisenerzvorräte der Schweiz.
4. International Geological Congress, Canada 1913. The Coal Resources of the World. Vol. II, p. 713—719. Schweiz. Geol. Kommission. Die Kohlenvorkommnisse in der Schweiz.
5. Alb. Heim. Geologie der Schweiz. Leipzig, C. H. Tauchnitz.

Dès les premiers essais, on renonça à représenter sur une seule feuille à l'échelle du 1 : 500 000 les gisements de toutes les matières premières; et comme depuis 1904 il a paru à cette échelle les 3 cartes des marais tourbeux, des argiles et des pierres de construction, on décida de se borner à reporter sur la carte les localités des gisements concernant l'industrie minière: tourbes, charbons, asphalte etc.; sels, minerais.

Nous mentionnons que depuis 1892 une „Commission suisse des charbons" („Schweizerische Kohlen-Kommission") a été adjointe à la Commission géologique de la Société helvét. des Sciences naturelles. Cette commission a publié les monographies suivantes: „Molassekohlen östlich der Reuss (1899), Molassekohlen westlich der Reuss (1903), Petrolführende Molasse (1919), Postkarbonische Kohlen der Schweizeralpen (1919)", qui représentent les livraisons 1, 2, 6 et 7 des matériaux publiés par la Commission géotechnique. — En outre cette commission put insérer dans ses matériaux comme 3e livraison les „Moore der Schweiz", publiée par la fondation „Schnyder von Wartensee".

Depuis 1903 M. C. Schmidt et ses collaborateurs s'occupaient surtout de l'étude préparatoire des minerais, du sel gemme, de l'asphalte et du pétrole. Les efforts et les moyens de la Commission géotechnique étaient absorbés en attendant par la publication des grandes monographies „Die schweizerischen Tonlager (1907)" et „Die natürlichen Bausteine und Dachschiefer (1915)".

Pour la présente vue d'ensemble, jusqu'en 1917, nous n'eûmes à notre disposition, en fait de matériaux directement utilisables publiés par la Commission géotechnique, que les monographies des tourbes et des charbons de la Molasse.

Le Haut Conseil fédéral a prêté, dès 1916, une attention spéciale à la question de l'exploitation des gisements des matières premières minérales indigènes. (Voir en particulier l'arrêté du Conseil fédéral concernant l'exploitation des gisements des matières premières minérales du 18 janvier 1918.) — La première initiative pour le développement d'enteprises minières est due à la „Section de Chimie" du Département fédéral de l'Economie publique, et en automne 1917 un „Bureau des Mines" a été adjoint à la division de l'Economie industrielle de guerre. M. l'ingénieur H. Fehlmann fut chargé de sa direction; M. le Prof. C. Schmidt en fut nommé collaborateur géologique et bon nombre de géologues ont été chargés de recherches spéciales.

Des renseignements concernant le but et l'activité du „Bureau des Mines" se trouvent dans les „Rapports du Conseil fédéral à l'Assemblée fédérale sur les mesures prises par lui en vertu de l'arrêté fédéral du 3 août 1914", soit: VIIIe rapport du 10 septembre 1917, p. 57—60, IXe du 20 novembre 1917, p. 43, Xe du 24 mai 1918, p. 104—105, XIe du 2 décembre 1918, p. 90—92, XIIe du 23 mai 1919, p. 90—91, et XIIIe du 15 novembre 1919, p. 71—72

Les recherches sur les gisements des matières minérales ont acquis une intensité tout à fait inattendue et, en passant en revue le présent texte explicatif, nous devons en rendre compte, en mentionnant ici les études de nos collaborateurs. Tous les travaux exécutés depuis le mois de mars 1917 ont pu être pris en considération.

I. Charbons — Asphalte. 1. Charbons. Tandis que nous n'eûmes à notre disposition, lors de la rédaction du texte allemand, que quelques analyses occasionnelles, nous disposons actuellement d'une très grande série d'analyses complètes des combustibles suisses. M. le Dr. Schläpfer, directeur du Laboratoire fédéral d'essais de combustibles à Zurich, a mis à notre disposition son important matériel et grâce à sa

collaboration nous pouvons donner à la Planche I le tableau de la composition chimique des tourbes et des charbons suisses.

I. De profondes modifications s'imposaient naturellement pour la description des gisements de tourbe exploitable. Nous sommes reconnaissants à la section „Approvisionnement en tourbe“ du Département fédéral de l'Intérieur de son aimable concours. (Voir surtout XIe rapp. du Cons. féd. etc. p. 11–15)

II. Nous avons examiné les gisements de charbons feuilletés de *Mörschwyl*, d'*Uznach* et de *Wangen*, de *Zell* et de *Gondiswil*. Nous mentionnons les rapports de M. A. Jeannet sur *Wangen* et de M. E. Baumberger sur *Eschenbach* et sur *Dürnten*. En tenant compte des études de M. Ed. Gerber, un rapport spécial a été donné sur le gisement de *Zell*.

III. Les études sur les gisements des „Braunkohlen du Tertiaire et du Mésozoïque“ sont représentées par les rapports spéciaux concernant les localités suivantes: *Herdern, Kollbrunn* et *Bichelsee* (K. Dreher) — *Oron, Semsales* et *Paudex-Belmont* (E. Ritter, J. Krebs et Fr. Jaccard) — *Littau* (E. Baumberger) — *Martinstobel* et *Sturzenegg* (Ed. Scheibener) — *Rufi* (K. Dreher) — *Kaisten* (C. Disler) — *Rocher des Rayes* et *Gérignoz* (H. Preiswerk et W. Grenouillet) — *Vouvry* et *Vionnaz* (T. Keller).

IV. Lorsqu'en 1917, sur la demande du gouvernement du Canton du Valais d'abord et du Département fédéral de l'Economie publique ensuite, l'étude approfondie des anthracites du Valais fut inaugurée, nous avions à notre disposition des rapports inédits des MM. A. Heim, L. Duparc, C. Schmidt et H. Preiswerk et surtout de L. Wehrli. En août 1917 on a commencé à faire lever les plans des mines et à dresser la carte topographique des terrains miniers à l'échelle du 1 : 2000. L'organisation des études géologiques, commencées aussi sous la direction du „Bergbaubureau“, fut transferée en juin 1918 à l'„Association des Producteurs d'Anthracite du Valais“. Jusqu'en juillet 1919 nos rapports détaillés sur tous les terrains étaient déposés et les résultats de ces travaux, complétés par des études sur la nature du charbon, se trouvent réunis dans notre texte explicatif. Les travaux sur le terrain et dans le laboratoire étaient confiés en 1917, 1918 et 1919 aux géologues collaborateurs suivants: P. Christ, K. Dreher, W. Grenouillet, T. Keller, J. Krebs, E. Lange, E. Lehner, H. Preiswerk, E. Ritter, R. Schider et A. Werenfels.

L'apparition remarquable du terrain houiller dans le *Val Colla* fut étudiée, grâce à une initiative privée. — Le contrôle géologique des sondages de *Buix* et d'*Allschwil* nous a été confié, avec MM. P. Christ et K. Dreher comme collaborateurs, par la „Société suisse pour la recherche de gisements houillers“.

2. Asphalte, Pétrole etc. Quant aux „Hydrocarbures du Jura“ nous avons pu profiter des études récentes de Mr. M. Frey sur le *Val de Travers*. Des rapports détaillés concernant les sables pétrolifères de la région d'*Orbe*, des environs de *Genève* et de la France voisine, ainsi que les gaz naturels de cette région *(Cuarny)* ont été composés en collaboration avec MM. A. Frauenfelder, P. Christ et, pour la partie chimique, M. Alb. Brun. — Le „Gaswerk Schwyz A.-G.“ a donné lieu à l'étude des gaz du *lac de Lowerz* par M. Schläpfer et par nous; un rapport sur les gaz de marais de *Altenrhein* est dû à Mr. A. Tobler. — En collaboration avec MM. W. Grenouillet et P. Christ nous avons achevé l'étude des schistes bitumineux de *Meride* et d'*Arogno*.

II. Sels. I. Le sel gemme de la région rhénane est l'objet de nos études depuis 1901, M. L. Braun étant notre collaborateur depuis 8 ans. Sur toutes les questions géologiques y relatives, la „Société des Salines suisses du Rhin réunies“ ainsi que la „Soudière suisse“ ont donné lieu à des études continues, dont nous avons pu profiter largement pour notre texte. Nous mentionnons la description du sel du Groupe de

l'anhydrite, rencontré dans le sondage de *Buix*. Sur les traces de sel gemme dans le Valais nous avons de même eu l'occasion de faire une étude spéciale.

II. Les sulfates de magnésie de *Birmenstorf*, dont le gisement vient d'être attaqué par une galerie de base, construite par la „Société Birmo A. G.", ont été l'objet d'une étude spéciale en collaboration avec M. W. Grenouillet.

III. Minerais. Pendant la guerre, les premières tentatives de suppléer par la production indigène au manque des minerais provenant de l'étranger visaient surtout la pyrite, les minerais de manganèse et de molybdène. Nous avons été consulté par le „Service des Munitions, Commission des Chimistes", par les „L. v. Roll'schen Eisenwerke", la „Chemische Fabrik Uetikon", la „Gesellschaft für Chemische Industrie in Basel", „Gustav Weinmann Zürich", le „Gonzen-Syndikat" etc. Les études spéciales sur les gîtes de minerais en Suisse étant déjà bien avancées, nous avons pu mettre à la disposition du „Bergbaubureau" des rapports complets: Minerais de fer de *Erzegg-Planplatten, Chamoson;* Arsénopyrites de *Salanfe* et du *Val Minor,* les Pyrites aurifères de *Gondo* et d'*Astano;* Minerais de cuivre de la *Mürtschenalp,* de l'*Oberhalbstein* et du *Val d'Anniviers;* Minerais de nickel et de cobalt du *Val Tourtemagne* et du *Val d'Anniviers* et enfin Minerais de plomb et de zinc de *Trachsellauenen, Goppenstein,* et du *Bas Valais.*

D'autre part nous avons repris et complété, en collaboration avec MM. E. Baumberger, L. Braun, W. Grenouillet, E. Ritter, J. Stauffacher, Chr. Tarnuzzer et O. Wilhelm, les études sur les gisements suivants: Minerais de fer et de manganèse: *Jura argovien et bernois, Dents du Midi, Gonzen. Val d'Err, Val Tisch* et *Val Plazbi, Avers, Splügen, Mont Chemin;* Minerais pyriteux de fer et d'arsénic: *Javrex — L'Amône, Aproz, Val Barthélemy, Cuisons, Agarn* dans le Valais — *Medeglia, Val Trodo, Fescoggia* dans le Tessin; Minerais de cuivre: Alp *Ranasca* et *Andest, Gruaba;* Minerais de molybdène: *Baltschiedertal*; Minerais de nickel: *Clemgia, Val Nandrò;* Minerais de plomb et de zinc: *Aranno, Camino, Ruis, Gorges de la Massa, Praz Jean* et *Blesec.*

En août 1919 le „Bergbaubureau, Abteilung für industrielle Kriegswirtschaft, Schweizerisches Volkswirtschaftsdepartement" a fait publier par son chef, M. H. Fehlmann, ingénieur, un grand volume: „Der schweizerische Bergbau während des Weltkrieges". M. Fehlmann s'y restreint en principe aux gisements dont l'exploitation a été inaugurée pendant la guerre. Il n'y parle pas des anciennes exploitations de sel gemme, du bohnerz et des schistes bitumineux et pour des raisons spéciales la description des minerais de fer et de manganèse est remise à plus tard. Il y étudie par contre le talc, la pierre ollaire et l'asbeste, que nous ne pouvons pas traiter dans notre texte explicatif. Pour la presque totalité de son ouvrage, M. Fehlmann a eu à sa disposition les textes préparés par nous. 70 figures insérées dans le texte et 21 des 24 planches sont sorties de notre laboratoire.

De nos jours où, partout chez nous, le besoin de charbons, de pétrole, de minerais continue à être très urgent, la carte ci-jointe et son texte explicatif peuvent servir de premier vade-mecum. Nous y dressons l'inventaire du sous-sol suisse. Des descriptions approfondies et des monographies suivront.

Puisse la connaissance des faits contribuer à supprimer de fatales utopies et à appeler à la vie de saines initiatives.

Bâle, 1920.

Prof. Dr. *C. Schmidt.*

Charbons. — Asphalte.

Les charbons, l'asphalte et le pétrole, sont des matières minérales brutes, riches en carbone, apparaissant en couches syngénétiques, parfois aussi épigénétiques, dans les roches sédimentaires.

Les charbons sont des matières brutes d'origine organique, formant la série de carbonisation („Inkohlungsreihe") continue suivante: tourbe, charbons feuilletés (Schieferkohlen), lignites (Braunkohlen), houille (Steinkohlen), anthracite et graphite avec une proportion croissante de carbone allant du 50 au 99 %.

L'asphalte, le pétrole, les bitumes et les gaz naturels sont en majeure partie des hydrocarbures bitumineux pouvant être à l'état solide, liquide ou gazeux; ils doivent leur origine aux mêmes processus de formation.

Tous ces matériaux appartiennent essentiellement aux „combustibles fossiles", occupant, parmi toutes les matières premières minérales, la première place dans l'économie mondiale; la valeur annuelle des combustibles fossiles extraits dans le monde entier s'élevait à 15 milliards de francs, alors que celle du fer obtenu était de 5 et celle de l'or de 2,5 milliards.

1. Charbons.

En Suisse, le charbon fut exploité depuis le XVIe siècle. On a constaté partout que plus les sources étrangères d'apports sont bon marché, plus la production indigène se trouve, ici et là, étouffée. Il y a lieu de remarquer que les réserves en charbon de la Suisse ne sont pas encore généralement découvertes et que les exploitations de mines ont été rarement rationnelles. Il est absolument indiqué, en ces temps de grande „disette de charbon" d'accorder une plus grande importance aux charbons indigènes. La Suisse sera malheureusement toujours un pays „pauvre en charbon". La consommation

annuelle étant de 3 millions de tonnes, la production nationale n'y entre que pour une fraction très minime, même si la réserve totale et utile en charbon se monte à un certain nombre de millions de tonnes. L'estimation de la Commission géologique, qui, en 1913, évaluait cette réserve probable à 75,000 t., est certainement beaucoup trop faible. La production indigène en tourbes et charbons peut être évaluée pour 1918 à 300,000 t. de tourbes et 120,000 t. de charbons, somme à laquelle l'anthracite participe pour 42,000 t., les houilles pour 6000 t., et les charbons feuilletés pour 72,000 t. Vu l'emploi restreint que permettent les qualités de nos combustibles, la quantité de la production indigène ne peut couvrir qu'à peine un vingtième de nos besoins.

La connaissance d'un charbon repose nécessairement sur l'étude, d'une part, de la nature géologique de son gisement, d'autre part, de ses propriétés chimiques et physiques. Les procédés d'exploitation, aussi bien que le mode d'emploi, en dépendent. Pour poser la base indispensable à toute étude, nous commençons donc par donner un tableau indiquant (Pl. I) l'âge géologique de tous les types de charbons connus en Suisse, et les résultats sommaires de l'analyse chimique pratiquée sur eux par le Laboratoire d'essais de combustibles de l'Ecole polytechnique de Zurich. Nous faisons remarquer que les charbons analysés sont des échantillons prélevés par les géologues sur le flötz; la marchandise mise dans le commerce est en général du charbon moins pur, plus riche en cendres. Les résultats de l'analyse chimique sont groupés de la façon suivante: la première partie de notre tableau indique les propriétés du combustible exempt de cendres et asséché; nous y mentionnons la composition élémentaire (C · H · O · N · S en %), les substances volatiles en %, l'hydrogène disponible pour mille parties de carbone, et la chaleur de combustion (Cal. kg.). La deuxième partie ne donne, pour le combustible brut, que sa teneur en eau et en cendres, ainsi que son pouvoir calorifique (cal. kg.). Les données de ce tableau seront commentées dans la suite de ce travail. Pour le moment, nous nous bornons à faire remarquer la relation intime qui apparaît si clairement entre la nature chimique et physique du charbon et ses conditions géologiques. D'une façon générale, l'âge géologique du charbon entraîne une augmentation correspondante de la teneur en carbone du combustible exempt

de cendres est asséché. De même, la densité s'accroît dans la même proportion. Nous trouvons les densités moyennes suivantes, qui prouvent en effet que la densité du charbon pur augmente d'une façon constante avec l'âge géologique.

Combustibles		Poids spécifique
Lignites feuilletés		1,27
Lignites	1) molasse d'eau douce supérieure	1,38
	2) molasse d'eau douce inférieure	1,39
	3) Nagelfluh	1,43
Houille	1) Eocène	1,46
	2) Jurassique	1,73
	3) Carbonifère	1,82
Anthracite carbonifère		1,93

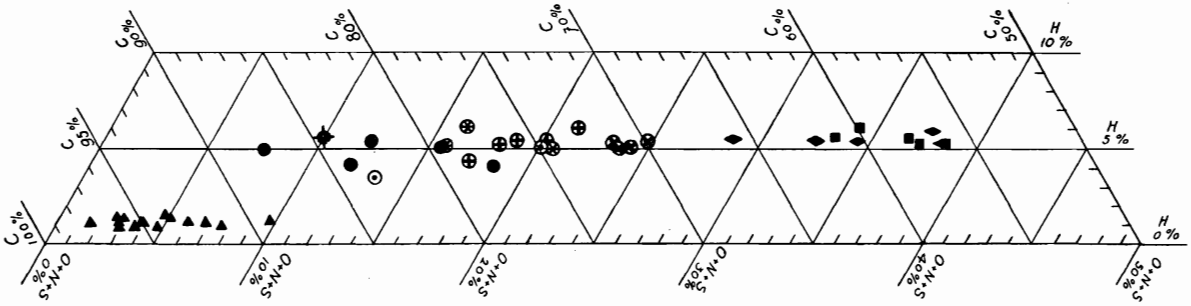
La nature chimique caractéristique des divers charbons peut être indiquée au moyen d'une représentation graphique analogue à la projection à 3 axes en usage en pétrographie pour figurer intuitivement la composition chimique des roches (v. Fig. 1 p. 12). Les éléments essentiels du charbon qui doivent être représentés sur notre graphique sont: 1° le carbone (C); 2° l'oxygène, l'azote et le soufre (O + N + S); 3° l'hydrogène (H). Chacun des 48 spécimens du tableau (Pl. I) a donc trouvé sa place déterminée dans la figure suivante, et pour chacun d'eux, sa position indique sa teneur en C, en O + N + S et en H. Les parentés et les diversités chimiques de nos 9 différentes sortes de charbons suisses y sautent aux yeux.

I. Tourbe.

On appelle **tourbe** des amoncellements stratifiés de végétaux décomposés, dont l'épaisseur peut atteindre 10 m. à l'intérieur des marais. Comme le montre la planche I, nous distinguons en Suisse la tourbe de Bas-marais (Flachmoor) et celle de Haut-marais (Hochmoor). La teneur en eau de la tourbe sur son gisement naturel est de 85 à 92 %; la tourbe séchée pèse 180—500 kg. par m³, et sa teneur en eau est réduite à 10—40 %. La proportion des cendres de la tourbe séchée est extrêmement variable (3—25 %). La tourbe de commerce, à 80 frs. la tonne, contient 42 à 48 % d'eau et de cendres et son pouvoir calorifique est en moyenne de 2500 Cal. kg.

D'après les renseignements du bureau fédéral de statistique, il y avait, en 1910, 100 personnes dont le métier principal

Fig. 1.



	▲	✦	●	⊙	⊛	⊕	⊗	■	◆
Densité	1,93	1,82	1,73	1,46	1,43	1,39	1,38	1,27	ca. 0,8
Nature du combustible	Anthracite	Houille	Houille et Pechkohle	Lignites (Pechkohlen et Braunkohlen)				Lignites feuilletés	Tourbe
Age géologique	Carbonifère supérieur		Mésozoïque	Eocène	Nagelfluh subalpine	Molasse d'eau douce inférieure	Molasse d'eau douce supérieure	Diluvium	Alluvium
					Oligocène et Miocène				

consistait à extraire de la tourbe. Quinze d'entre elles étaient employées à ce travail dans les marais de Ponts-La Sagne. Etant donnée la disette actuelle de charbon, l'attention a été attirée à nouveau sur la valeur de la tourbe comme combustible; nombreux sont en ces temps-ci, les efforts publics et privés pour exploiter en grand les tourbières de la Suisse.

Nous citerons en première ligne la „Société coopérative suisse de la tourbe", dont le but principal est d'intensifier dans la plus grande mesure possible la production de tourbe destinée à l'usage domestique. Les industries privées sont également entrées dans cette voie pour satisfaire à leurs propres besoins; une grande quantité d'usines à gaz de nos grandes villes exploitent aussi pour leur compte et trouvent dans la tourbe un puissant auxiliaire. Enfin, une foule de groupements, tant formés au sein des pouvoirs publics qu'entre particuliers, par ex. des communes, des administrations, des sociétés, etc., rivalisent d'efforts pour extraire la tourbe.

Dans l'ensemble, on peut évaluer grosso modo à 2000 ha. les surfaces exploitées, occupant plus de 12,000 personnes et plus de 200 machines. La production totale en Suisse, pour 1918, a atteint 300,000 t., d'après l'enquête faite par l'Inspection suisse des forêts. En 1919, jusqu'à la fin du mois de septembre, la production de tourbe a atteint 208,000 t. La surface totale des tourbières existant en Suisse s'élève approximativement à 7000 ha.

En Suisse, nous trouvons des marais à tourbe dans le Jura occidental, sur tout le Plateau, et quelques-uns, isolés, dans les Alpes.

Les deux types principaux de marais à tourbe sont répartis en Suisse de la façon suivante: les Bas-marais sont répandus sur le Plateau et dans le fond des grandes vallées; les Hauts-marais se trouvent dans le Jura vaudois, neuchâtelois et bernois, ainsi qu'aux bords des Alpes, aux environs de Bulle, dans l'Entlibuch et près d'Einsiedeln.

A. Dans le **Jura plissé de la Suisse occidentale**, de „Hauts-marais" s'étendent en général dans les vallées synclinales allongées. Les localités où on exploite de la tourbe sont les suivantes:

Le Lieu, *Le Sentier*, *Le Brassus*, *Le Chenit*, dans la vallée de Joux (Vaud).

Ste Croix (La Sagne, La Chaux et la Vraconnaz (Vaud).

Couvet dans le Val de Travers (Neuchâtel).

La Brévine, Cerneux Péquignol, au SW. du Locle (Neuchâtel).

Les Ponts-La Sagne et *Combe-Varin* (Neuchâtel).

Le Locle (Col des Roches) (Neuchâtel).

La Chaux-de-Fonds (Pouillerel, les Eplatures) (Neuchâtel).

Les Pontins, Chasseral, près de St-Imier (Berne).

Prêles, au-dessus du lac de Bienne (Berne).

Les Breuleux, Bellelay et *La Chaux,* W. de Tramelan (Berne).

Moulin de la Gruyère, NW. de Tramelan (Berne).

Les Enfers et *Plein-de-Seigne,* près de Montfaucon (Berne).

Reinach au S. de Bâle (Bâle campagne).

B. Sur le **Plateau suisse,** les marais s'étendent à l'intérieur des moraines reposant sur la Molasse. La tourbe y est exploitée aux endroits suivants, en se dirigeant du SW. au NE.:

Veyrier (Genève).

Prangins près de Nyon (Vaud).

Orny, Bavois et *Chavornay* dans les marais au S. d'Orbe (Vaud). L'extraction de la tourbe y a été reprise sur une grande échelle, on y compte de 15 à 20 malaxeurs en activité, sans compter le travail effectué par de nombreux louchets mécaniques et à la main. La production de tourbe sèche peut être évaluée à 40 000 t. par an.

Le Tronchet, commune de Grandvaux, au N. de Cully (Vaud).

La Rogivue (Les Nosses), à l'E. d'Oron-la-ville et à l'W. de Semsales (Vaud et Fribourg).

Vaulruz (Crêt, Joux des Ponts et Maules, à l'occident de Bulle) (Fribourg).

Prez, Seedorf, Rosé, Cottens et *Farvagny* au SW. de Fribourg (Fribourg).

Echarlens. Trois km. au NE. de Bulle (Fribourg).

Senèdes et *Tentlingen,* au S. de Fribourg (Fribourg).

Dirlaret, Guin (Düdingen) (Garmiswil, Heitenwil, Lanthen) à l'E. de Fribourg (Fribourg).

Thierrens et *Avenches* dans la Broye (Vaud et Fribourg).

Dans le „Grand Marais" entre les lacs de Neuchâtel, de Morat et de Bienne (Vaud, Fribourg, Berne):

Cudrefin, Witzwil, Chiètres (Kerzers), Anet (Ins), Champion (Gampelen), Gals, Cressier, Brüttelen, Kallnach et *Hageneck.*

Münchenbuchsee, Seedorf, Wengi, Messen, Lyssach, Burgäschi, Bleienbach, entre Berne et Soleure (Berne et Soleure).

Gurzelen, Thierachern, Amsoldingen, Zwieselberg, W. de Thoune (Berne).

Worb (Gümligen, Vilbringen, Walkringen, Schlosswil, Konolfingen, Ursellen), au SE. de Berne (Berne).

Schwarzenegg (Buchholderberg et Wachseldorn), NE. de Thoune (Berne).

Schangnau (Steinmoos) sur la Grande Emme (Berne).

Escholtsmatt, Hasle, Entlebuch, Mettlimoos, Eigental au S. de Malters, *Littau, Horw* (Lucerne).

Willisau, Geiss, Menznau, Ruswil (Lucerne).

Ettiswil, Wauwil, Eriswil, Knutwil, Schlierbach près de Sursee (Lucerne).

Kommeln près de *Münster* (Lucerne).

Eschenbach et *Fenkrieden* au N. de Lucerne (Lucerne et Argovie).

Hochdorf à l'extrémité S. du lac de Baldegg et *Muesswangen* (Lucerne).

Sarmensdorf (Buchermoos) et *Villmergen* (Argovie).

Bünzenmoos près Bünzen et Boswyl, N. de Muri (Argovie).

Bonstetten et *Wettswil*, W. du lac de Zurich (Zurich).

Felsenegg (Geissboden) sur le Zugerberg et *Eigenried* (Zoug).

Rothenthurm (Innere et äussere Altmatt) (Schwyz).

Einsiedeln (Todtmeer sur la Sihl et Hartmannsegg, NW. d'Einsiedeln) (Schwyz).

Wollerau (Schwyz).

Hirzel, Rifferswil, Thalwil, Rüschlikon (Zürich).

Affoltern près de Zurich (Zurich).

Wangen-Schwerzenbach, sur la rive N. du lac de Greifensee (Zurich).

Iltnau, Pfäffikon et *Irgenhausen* sur les rives E. et N. du lac de Pfäffikon (Zurich).

Wetzikon, sur le bord S. du lac de Pfäffikon (Zurich).

Gossau, S. du lac de Greifensee (Zurich).

Ricken, entre Uznach et Wattwil (St-Gall).

Nesslau (St-Gall).

Ossingen (Hauersee-Oerlingen) (Zurich).

Hasensee près Nussbaumen-Hüttwylen, et *Pfyn* au N. de Frauenfeld (Thurgovie).

Stammheim (Thurgovie).

Hettlingen, N. de Winterthour (Zurich).

Wallenwil, Eschlikon et *Wiezikon, Busswil* et *Zuzwil* près de Wyl (Thurgovie).

Kirchberg, S. de Wyl (St-Gall).
Lommis et *Märwil*, SW. de Weinfelden (Thurgovie).
Ramsen et *Thayngen* (Schaffhouse).
Wuppenau, S. Weinfelden (Thurgovie).
Flawil (Botsberg), SW. de Gossau (St-Gall).
Niederwyl au N. et *Andwyl* au NE. de Gossau (St-Gall).
Zihlschlacht (Hudelmoos), N. de Bischofszell (Thurgovie-St-Gall).
Wittenbach (Lachenmoos), N. de St-Gall (St-Gall).
Appenzell (Gonten à l'W., Eggenstaden à l'E. et Gais au NE. d'Appenzell) (Appenzell).
Schmerikon (Doltsch) et *Ober-Bolligen*, E. de Rapperswil (St-Gall).

C. Dans **les Alpes** les marais ne donnent lieu qu'en très petit nombre à des exploitations de tourbe.

Nous y distinguons les régions qui suivent:

a) Alpes calcaires septentrionales. Quelques marais s'étendent sur le sous-sol argileux constitué par le Flysch, le Dogger ou le Trias.

Nous mentionnons:
Champéry (Valais).
Lac de Luissel au S. de Bex (Vaud).
Leysin au-dessus d'Aigle (Vaud).
Prantin, au N. et au-dessus de Clarens (Vaud).
Les Mosses entre Château d'Oex et les Ormonts (Vaud).
Bouleyres, entre la Tour-de-Trême et Broc, près de Bulle (Fribourg).
Chermignon près de Sierre (Valais).
Saanenmoos au N. de Saanen (Berne).
Frutigen (Berne).
Grindelwald (Berne).
Reutigen (Reutigmoos) près Wimmis, au S. de Thoune (Berne).
Ob Bürgen N. de Stans, sur le Bürgenstock (Unterwald).
Kapfeberg, à l'Est au-dessus de Mels (St-Gall).

b) Alpes centrales. Les formations marécageuses y sont partout répandues; elles y ont en moyenne de très petites dimensions:

Champex (Mariotty-Plan de l'Haut, S. de Martigny (Valais).
Vallée d'Urseren et *Oberalp* (Uri).

Malix et *Lenzerheide* (Grisons).
Arosa (Grisons).
Davos (Frauenkirch et lac de Davos) (Grisons).
St. Moritz (Grisons).

c) Fonds des Vallées. La vallée du Rhône au-dessus de Villeneuve, la plaine comprise entre Bellinzone et Locarno, la plaine de la Linth entre les lacs de Walenstadt et de Zurich ainsi que le Rheintal saint-gallois, sont riches en marais tourbeux. Les localités d'exploitation sont:

Vionnaz-Muraz-Collombey dans la vallée du Rhône au N. de Monthey (Valais).
Schaenis et *Bilten* dans le Linthal (Glaris).
Isenriet. S. d'Altstätten (St-Gall).

D. Du **versant méridional des Alpes** on peut mentionner:
Sassa dans le Val Tresa, W. de Lugano (Tessin).
Coldrerio, Fenestrerio, Besazio près de Mendrisio (Tessin).

II. Charbons feuilletés (Schieferkohlen) des terrains glaciaires.

On comprend, spécialement en Suisse, sous le nom de Charbons feuilletés (Schieferkohlen), les charbons intercalés dans les terrains glaciaires (Diluvium). Ils sont absolument différents des houilles lignitiques (Braunkohlen) du Tertiaire et ne doivent en aucun cas être désignés sous le terme de „Braunkohlen". Les „Schieferkohlen" se rapprochent des tourbes sous tous les rapports. Ils furent en effet anciennement désignés sous le nom de „tourbes ligneuses".

En Suisse, aussi bien qu'en Savoie près de Chambéry, nous trouvons les charbons feuilletés partout intercalés dans des gisements du diluvium. A leur base, on a découvert en maint endroit des moraines typiques; les couches de charbon sont recouvertes de graviers glaciaires sur lesquels reposent des moraines. La situation géologique révèle que les couches appartiennent à la dernière période interglaciaire (Riss-Würm) ou à la grande période interglaciaire, l'avant-dernière (Mindel-Riss). La faune des vertébrés est en effet représentée par l'Elephas antiquus, le Rhinoceros Merkii et l'Ursus spelaeus; la riche flore présente des rapports avec le phénomène glaciaire; les espèces retrouvées s'élèvent à une soixantaine, mais ne diffèrent pas de la flore actuelle. La structure des char-

bons feuilletés et les plantes qu'ils contiennent montrent qu'originairement ils ne furent autre chose que des tourbes de l'époque glaciaire et que, dans la plupart des cas, ils sont les équivalents du type „Bruchwald“ du Bas-marais.

Le charbon sur son gisement est d'un brun tirant sur le rouge. Il devient noir quand il est imprégné d'eau, de même que quand il sèche. Frais, il se coupe comme du savon; sec, il est dur et cassant. La stratification du charbon est peu marquée dans son gisement; mais en sèchant le charbon se délite en feuilles minces, caractère d'où il tire son nom. Les parties supérieures du Flötz, qui sont souvent finement sableuses, deviennent blanches („Silber“ des mineurs d'Uznach).

Tandis que la teneur en eau de la tourbe sur son gisement naturel est de 85—92 %, le charbon feuilleté n'en contient que 40 à 70 %, et cette différence est en effet la seule qui le distingue de la tourbe quant à sa composition chimique. Notons que la tourbe perd son eau plus facilement que le charbon feuilleté. La teneur en cendres, aussi très variable, oscille entre 3 et 30 %. Le combustible, exempt de cendres et asséché, renferme en moyenne C, 58 %; H, 5,5 %; O + N, 35 %; S, 0,5 %. Le pouvoir calorifique varie entre 1000 et 3000 cal. kg., tandis que la chaleur de combustion est en moyenne de 5500 cal. kg.

L'exploitation des charbons feuilletés a pris, en Suisse, un développement considérable. D'une part, on a recommencé l'exploitation des anciennes mines dans la région d'Uznach et à Mörschwyl; d'autre part, à Gondiswyl-Zell, on a ouvert en grand des gisements restés presque intacts. La production de la Suisse en charbons feuilletés a atteint son maximum en juillet et août 1918, avec plus de 8000 t. par mois. La production totale pour 1918 s'élève à 68,718 ts. et pour les 3 premiers mois de 1919 a 9829 ts.

Nous trouvons des gisements importants de charbons feuilletés: dans la Suisse orientale, près de St-Gall, et dans la région du haut-lac de Zurich; dans la Suisse centrale à Zell-Gondiswyl, près de Huttwyl.

Les gisements suivants sont indiqués sur la carte:

Mörschwyl[1]). Près des bâtiments du hameau de Bühl (à 7,5 km. au NE. de la ville de St-Gall), au nord de la voie ferrée Rorschach-St-Gall, du charbon a été exploité jusqu'en

[1]) Sur notre carte, Mörschwyl est indiqué au sud de la voie ferrée St-Gall-Rorschach, tandis qu'il est au nord.

1896. Il y a deux couches, dont la supérieure est exploitable et possède de 0,7 à 2,5 m. de puissance. La surface du gisement peut être évaluée à 300,000 m². On en a repris l'exploitation en 1918.

Wildhaus dans le Haut-Toggenbourg. A l' E. du village, vers 1000 m. d'altitude, dans le ravin du Simmibach, on observe sous la moraine de beaux charbons feuilletés ayant 1 m. d'épaisseur. Ils plongent jusqu'à 40° au NNE. Ce que l'on en voit affleurer est probablement glissé. On n'a pu constater la présence d'une couche continue, même en pratiquant des fouilles, en mai 1917. Des tentatives d'exploitation faites en 1870 furent abandonnées.

Uznach. Les dépôts glaciaires reposant sur la Molasse sont d'une grande étendue et d'une épaisseur assez considérable dans la région formant terrasse comprise entre Uznach, Kaltbrunn et Gommiswald. Sous une couverture plus ou moins épaisse de gravier apparaît le niveau des charbons feuilletés renfermant de 1 à 3 couches exploitables suivant les régions. Cet horizon peut reposer soit sur de la moraine ancienne, soit sur de la craie lacustre, soit sur des sables et graviers, soit enfin sur des argiles et sables argileux. Il est connu sur une distance d'environ 4½ km. avec une largeur maximale de près de 1 km. La surface totale est estimée à environ 2 km². Parmi les nombreuses exploitations et les creusages qui y furent exécutés, la mine Rickli seule, à mi-chemin entre Uznach et Gommiswald, a été en activité jusqu'en 1911. Le charbon y avait jusqu'à 3—4 mètres d'épaisseur. La quantité de charbon extraite autrefois aux environs d'Uznach s'élevait annuellement à 3—4000 tonnes.

Aux environs d'Uznach, à Böllenberg, Böllenbergtobel, Allmeidli et Gublen, ainsi qu'à Hof et Kaufmannshof sur Kaltbrunn, le charbon se rencontre à peu près dans sa position normale. Les fouilles et les nouvelles exploitations de 1917/18 ont rencontré dans ces régions presque partout d'anciennes galeries d'extraction, ce qui causa des déceptions. Par contre, sur le versant dominant la ligne de chemin de fer Kaltbrunn-Uznach, à l'est d'Ober-Hirschland et au sud de Gublen, on trouve des paquets considérables de charbons feuilletés qui, ayant glissé, ne sont plus dans leur position primitive. Ces paquets de charbon se trouvent d'habitude à une faible profondeur, et peuvent être exploités à ciel ouvert. Ce territoire fut très peu exploité en comparaison de celui où les couches sont en place, aussi a-t-il réservé moins de

surprises désagréables; c'est là que l'extraction est actuellement la plus intense. Une dizaine de petites exploitations à ciel ouvert y sont en activité. L'une d'entre elles, par exemple, a livré 50 vagons.

Wangen. De puissants dépôts quaternaires formant terrasse s'appuient au flanc méridional de l'Unter-Buchberg, îlot Molassique, surgissant de la plaine de la Linth à l'extrémité orientale du haut-lac de Zurich. Au N. de Wangen, soit à 7 km. au SW. d'Uznach, ils renferment deux niveaux de charbons feuilletés: l'un à l'altitude de 445 m., l'autre à celle de 485 m. Tous deux furent exploités en galeries. L'extraction commença vers 1830 et fut abandonnée vers 1870. D'après les recherches exécutées en 1918, on estime que le niveau supérieur livrerait encore environ 50 vagons de combustible.

Eschenbach à 5 km. à l'W. d'Uznach, au N. du haut-lac de Zurich. Des charbons feuilletés furent exploités de 1846 à 1854 à l'Utenberg à l'W. d'Eschenbach, et à l'Oberfeld, à l'E. du village, de 1850 à 1881. La couche exploitable repose sur des marnes argileuses, sableuses, grises, souvent charbonneuses et supporte de puissantes masses de graviers. Le champ minier de l'Utenberg possède une surface de 50 à 55,000 m², avec une épaisseur de 0,45 à 2,1 m. de charbon. A l'Oberfeld, la surface de l'horizon exploitable est estimée à 40—45,000 m²; l'épaisseur de la couche de charbon y est de 0,45 à 0,75 m. Les fouilles de 1918 ont permis de reconnaître une région vierge à Oberfeld, tandis que celle de l'Utenberg est entièrement exploitée. Le petit champ minier du Goldberg au N. de Schmerikon est épuisé.

Dürnten. Intercalés dans des dépôts glaciaires 4 horizons de charbon apparaissent à différents niveaux près de Dürnten, à 5 km. au N. de Rapperswil; ils sont reconnus en 4 champs (Oberberg, Binsberg, Hinterweid et Kammern) qui furent exploités en galeries de 1854 à 1881. Les couches de charbon avaient de 0,40 à 1,5 m. d'épaisseur. La surface exploitée des différents champs miniers s'élève à environ 130,000 m². Les charbons feuilletés de Dürnten peuvent être considérés comme épuisés.

Unter-Wetzikon. Les terrains glaciaires constituent un paysage étendu de drumlins au S. du village d'Unter-Wetzikon, situé à 10 km. au N. de Rapperswil. Une couche de charbons feuilletés épaisse de 2,5 m., se trouve à la base de la moraine à drumlins et repose sur de la moraine plus ancienne, gisant à environ 10 m. de profondeur; elle fut ex-

ploitée au moyen d'un puits d'extraction dans les années 1872 à 1874. Les gisements étant épuisés, il n'y a plus lieu d'en reprendre l'exploitation.

Zell (Lucerne) et *Gondiswil* (Berne), au NE. d'Huttwil. En agrandissant, vers 1890, la place de gymnastique de Zell, on découvrit une couche de charbon feuilleté qui fut plus tard exploitée en petit. En construisant la voie de Huttwil à Wolhusen, le charbon feuilleté fut mis à jour près de la halte (station) de Gondiswil. Depuis le printemps 1917, tout le gisement de charbon feuilleté de Gondiswil-Zell a été découvert par de nombreuses fouilles. Les points d'exploitation sont: 1. Zell; 2. Huswil (Fuchsmatt); 3. Gondiswil (halte); et 4. Gondiswil (village).

1. Au N. de *Zell*, sur le versant occidental du Fischbachtal, cinq exploitations sont en activité. La surface du gisement de charbon feuilleté de Zell peut être évaluée à 25,000 m², et la puissance des couches exploitables atteint en moyenne 2 m. Les déblais qui les recouvrent dépassent parfois 20 m. d'épaisseur. Dans la partie méridionale du gisement, le Flötz plonge vers l'Est de 5—10°. Le combustible consiste en une agglomération uniforme de débris de plantes (Gehäksel) appartenant au type de tourbe „Bruchwald", mélangés de beaucoup de bois.

2. Au SW. de *Huswil*, sur le côté sud du Rotbachtal, sur le territoire de la commune de Uffhusen, se trouve l'exploitation de Fuchsmatt. La couche principale de charbon y est de 3 m. d'épaisseur. Les 30 cm. supérieurs de la couche sont de la tourbe à Sphagnum (tourbe de Haut-marais). Au-dessous, on trouve, comme partout, la tourbe du type „Bruchwald", avec beaucoup de bois de sapin rouge.

3. Sur les deux versants du Rotbachtal, près de la halte de *Gondiswil*, se trouvent des exploitations étendues:

a) Sur le versant méridional, dans l'exploitation de Engelprächtigen, on a mis à jour trois couches sous une couverture atteignant parfois 10 m. d'épaisseur. Une surface de 10,000 m² y a livré 8400 t. de charbon feuilleté.

b) Sur le versant septentrional, à proximité immédiate de la halte de Gondiswil, un gisement de 15,000 m² a fourni jusqu'à la fin de juillet 1918 une quantité de 18,000 t. Les gisements des deux versants de la vallée n'en formaient autrefois qu'un seul, qui a été coupé par le Thalweg. Dans l'exploitation de la halte de Gondiswil, on a mis à jour 5 couches. Celle du milieu a 2 m. d'épaisseur. Dans l'horizon de la se-

conde couche en commençant par en haut, on a trouvé des restes de l'Elephas antiquus.

4. Au *fond de la vallée du village de Gondiswil*, le charbon feuilleté a été découvert sur une étendue de 260,000 m².

L'ensemble des exploitations de Zell et de Gondiswil a fourni jusqu'à la fin de juillet 1918 environ 5300 wagons de charbon.

Strättligen au bord du lac de Thoune. On a reconnu dans le Glütschbach (4 km. au S. de Thoune), la présence, à l'intérieur d'une moraine, d'un lit de charbon épais de 0,3 m.

Signal de Bougy, au SW. d'Aubonne, au bord du lac Léman. Une couche de 0,1 m. d'épaisseur apparaît dans de la moraine constituant le versant abrupt situé au-dessous du Signal.

III. Houilles (Braunkohlen) du Tertiaire et du Mésozoïque.

On désigne sous le terme de „Braunkohle" (en français lignite) un charbon occupant une position intermédiaire entre la tourbe et les charbons feuilletés d'une part, et la vraie houille (Steinkohle) et l'anthracite d'autre part. Les „Braunkohlen" de la Suisse appartiennent au tertiaire et au mésozoïque. La différence caractéristique qui les sépare des combustibles du groupe des tourbes d'une part, et de l'anthracite du carbonifère d'autre part, se manifeste par les propriétés suivantes que présente le combustible, exempt de cendres et asséché.

	Tourbe et lignites feuilletés	Lignites du Tertiaire	Houille du Mesozoïque	Anthracite Carbonifère
C	55—60 %	70—80 %	75—87 %	90—96 %
O + N	37—32 %	20—10 %	13—2 %	9—1 %
Chaleur de combustion	5200—6500	7000—8000	7300—8700	7000—8000
Densité	0,3—1,3	1,38—1,43	1,73	1,93

Le „degré de carbonisation" indiqué par les chiffres ci-dessus peut être considéré en somme comme une fonction de l'âge géologique; ainsi, tandis que la tourbe et les charbons feuilletés se trouvent dans le quaternaire d'une part et que l'anthracite est paléozoïque d'autre part, les „Braunkohlen" (lignites) se rencontrent surtout dans le Tertiaire. Mais le „degré de carbonisation" est aussi, d'une façon tout à fait

caractéristique, fonction des mouvements orogéniques auxquels ont participé les sédiments qui renferment le charbon. Ainsi les charbons du Carbonifère du bassin de Moscou, qui sont demeurés dans leur position originelle absolument horizontale, sont restés des lignites typiques. Au contraire, nos charbons alpins tertiaires et jurassiques qui ont subi des dislocations orogéniques extrêmement puissantes, présentent très souvent le type de la houille et même de l'anthracite, de telle sorte qu'on peut parler d'un „facies alpin" du charbon, comme c'est le cas pour tous les sédiments.

Il est à remarquer que les formations du Tertiaire et du Mésozoïque, si même elles présentent des conditions favorables au dépôt du charbon, sont, en Suisse, pauvres en combustibles, en comparaison des pays avoisinants. Les charbons de la Molasse du Vorland alpin et ceux des Couches à Mytilus (Dogger) des Alpes calcaires à l'W. du lac de Thoune, ont seuls quelque importance. — La production totale des houilles du Tertiaire et du Mésozoïque s'est élevée en 1918 à 5957 t. et pour les trois premiers mois de 1919 à 4859 t.

A. Charbons du Tertiaire.

En Suisse, on trouve le Tertiaire dans le Jura, sur le Plateau et dans les Alpes. Les lignites n'existent généralement que dans la Molasse du Plateau et dans la Nagelfluh subalpine.

1. Charbons tertiaires du Jura.

Les calcaires d'eau douce et les marnes de l'„Oeningien" (Miocène supérieur) ont une épaisseur d'environ 100 m. dans la vallée synclinale du Locle. La division supérieure de l'étage est principalement marneuse. On a observé au Verger, à l'extrémité N. du Locle, dans ces marnes, une couche compacte de lignite, épaisse de 0,1 m.; au-dessus de ce banc principal, de minces couches de lignite et des lits charbonneux apparaissent dans des marnes de 2,7 m. d'épaisseur, recouvertes par le calcaire d'eau douce.

A l'entrée S. du tunnel du Weissenstein, près d'Oberdorf, une couche de dysodile (Papierkohle), épaisse de 8 cm., avec un peu de lignite, a été mise à nu dans un profil de couches d'eau douce de l'Oligocène inférieur. Le dysodile est riche en restes de poissons; il renferme environ 25 % de substances charbonneuses.

Près de *Soulce*, à 7 km. au NW. de Moutier, on a découvert des couches de dysodile tout à fait analogues à celles d'Oberdorf.

A *Anvil*, canton de Bâle campagne, on exploita jadis un lignite apparaissant dans un calcaire d'eau douce du Miocène supérieur.

2. Charbons de la Molasse et de la Nagelfluh subalpine.

Le sous-sol du Plateau suisse, entre le Jura et les Alpes, est formé de dépôts tertiaires développés sous la forme de Molasse et de Nagelfluh subalpine.

Les étages suivants constituent ce complexe de couches:

1. Miocène supérieur (Sarmatien).
2. „ moyen (IIe étage méditerranéen = Vindobonien).
3. „ inférieur (1er étage méditerranéen = Burdigalien).
4. Oligocène supérieur (Aquitanien).

La **Molasse du Plateau** est développée sous forme de Molasse d'eau douce inférieure (Oligocène et Miocène inférieur p. p.), de Molasse marine (Miocène inférieur et moyen) et de Molasse d'eau douce supérieure (Miocène supérieur). La Molasse d'eau douce inférieure apparaît partout sur les bords du lac Léman; elle s'étend de là par les vallées de l'Orbe, de la Broye et de l'Aar jusqu'à Aarau. La Molasse marine occupe la plus grande partie du Plateau suisse occidental. Des hauteurs de Lausanne, elle s'étend en une large zone au travers du canton de Vaud, par Fribourg, Berne, Berthoud, Zofingue et Lenzbourg. Dans la Suisse orientale, de Sempach au lac de Constance, par Bremgarten, Zurich et Frauenfeld, le sol est formé de grès tendres, de marnes et de calcaires d'eau douce, appartenant à la Molasse d'eau douce supérieure. Dans la Suisse occidentale, la Molasse d'eau douce inférieure renferme les charbons de Paudex-Belmont et de Semsales-Oron. Dans la Suisse orientale, c'est la Molasse d'eau douce supérieure qui renferme les charbons de Herdern, de Käpfnach, etc. Les deux groupes de charbons de la Molasse sont des Braunkohlen typiques.

La zone de la **Nagelfluh subalpine**, qui correspond stratigraphiquement aux différents horizons de la Molasse du Plateau, s'étend le long du bord des Alpes à l'E. du lac de Thoune. Les principaux horizons marins de la Nagelfluh sub-

alpine sont représentés par les Couches de Lucerne (Luzerner-Schichten) du Miocène inférieur (Burdigalien), et les Couches de St Gall (St. Galler-Schichten) du Miocène moyen (Vindobonien). Les charbons de la zone de la Nagelfluh sont associés au facies limnal qui peut apparaître aussi au milieu de groupes de couches marines (Sonnenberg près de Lucerne). Les principales localités où ce charbon apparaît dans la Nagelfluh sont les environs de St-Gall, ceux de Schänis, le Hohe Rone, la région de Lucerne et celle du Napf.

La majeure partie de nos charbons du Tertiaire appartient donc, comme il ressort du tableau de la planche I à trois zones géologiques différentes.

Les caractéres du combustible brut de ces charbons sont en général les suivants: 1° Eau, 5—20 %; 2° Cendres, 5 à 30 %; 3° Pouvoir calorifique, 4000—6500. Le charbon contient presque toujours du soufre en quantités notables, de 3—10 %. Pour le combustible exempt de cendres et asséché, nous trouvons: C, 70—80 %; H, 5—6 %; O + N, 10—20 %. Les trois groupes de charbons de la Molasse, ceux de la Molasse d'eau douce supérieure de la Suisse orientale, ceux de la Molasse d'eau douce inférieure de la Suisse occidentale et ceux de la Nagelfluh subalpine, ont chacun leurs caractères chimiques spéciaux; c'est en particulier le cas de la chaleur de combustion qui est de 7000 calories en moyenne pour les premiers, de 7500 calories pour les deuxièmes et de 8000 calories pour les derniers. Tandis que les charbons de la Molasse d'eau douce supérieure et inférieure ne présentent dans leur densité qu'une très faible différence (1,38 et 1,39) ceux de la Nagelfluh subalpine atteignent une densité de 1,43.

Malgré les différences que présentent les propriétés chimiques de ces divers charbons, nous leur trouvons un caractère commun: leur analogie avec le type de Braunkohlen désigné sous le nom de „Pechkohlen". C'est ainsi que nos charbons de la Molasse et de la Nagelfluh subalpine sont comparables aux houilles (Braunkohlen) du tertiaire de la Bohême, du bord des Alpes bavaroises, de l'Istrie, etc. Par contre nous ne trouvons pas chez nous de types analogues aux Braunkohlen typiques de l'Allemagne du Nord, qui sont plus ligniteux et contiennent de 40 à 60 % d'eau.

Les valeurs caractéristiques de ces charbons (Braunkohlen) (combustible exempt de cendres et asséché) sont les suivantes:

		C %	H %	O+N+S %
Suisse	Molasse d'eau douce supérieure	71	5	24
	Molasse d'eau douce inférieure .	75	5	20
	Nagelfluh subalpine	77	5,5	17,5
Etranger	Allemagne du Nord	65	7	28
	Bohême	72	6	22
	Bavière (Pensberg)	74	5	21
	Istrie (Carpano)	76	6	18

On a recommencé dernièrement à exploiter les charbons tertiaires à *Gottshalden* près Horgen (Molasse d'eau douce supérieure), à *Semsales-Palézieux* et à *Paudex-Belmont* près Lausanne (Molasse d'eau douce inférieure), et enfin à *Rüfi* près Schänis et à *Littau* près Lucerne (Nagelfluh subalpine). Ces charbons trouvent leur emploi rationnel dans les usines à gaz, quoiqu'ils livrent un coke peu compact. La production s'élève en 1918 à 5000 t. environ.

Les lignites de la **Molasse du Plateau** se rencontrent dans les localités suivantes:

a) Molasse supérieure d'eau douce de la Suisse orientale.

Egelshofen, *Ermatingen* (Stellitobel et Wolfsberg), *Berlingen* et *Mammern*. Dans les grès molassiques et les marnes affleurant sur la rive S. du Lac inférieur de Constance (Untersee), on a exploité occasionnellement, près des localités mentionnées, soit de minces lits, soit des nids de charbon de quelques centimètres d'épaisseur.

Wiesholz à la frontière suisse, 1,5 km. à l'E. de Ramsen. Sur le versant N. du Schienerberg, de faibles dépressions sont les indices d'exploitations écroulées, datant de 1833—1837. Le filon avait jusqu'à 0,5 m. d'épaisseur.

Herdern, 5 km. au N. de Frauenfeld. Un complexe de couches constitué par des marnes riches en Planorbes et des calcaires fétides, d'environ 0,80 m. de puissance, renferme de 2 à 4 filons qui peuvent être épais de 4 à 25 cm. Deux galeries ayant chacune 80 m. de longueur y furent ouvertes

autrefois; elles attaquaient les filons à une faible profondeur au-dessous de la surface du sol. L'exploitation se fit dans les années 1856 à 1862. Une nouvelle exploitation fut commencée une première fois, en novembre 1916. Jusqu'à fin mai 1917, il fut extrait, à ciel ouvert, environ 200 tonnes. On a rouvert l'exploitation pour la deuxième fois en automne 1917 et déblayé les anciennes galeries en les poursuivant vers le N. dans les filons; depuis, on a de nouveau arrêté des travaux sans avoir dépassé le champ des anciennes exploitations.

Wellhausen, 4 km. à l'E. de Frauenfeld. Deux minces lits, d'une épaisseur maximale de 9 à 15 cm., y furent exploités dans la première moitié du dix-neuvième siècle.

Murkart et *Oberwyl*, dans le Murgtal inférieur, à 2 km. au S. de Frauenfeld. Petits filons ayant jusqu'à 20 cm. d'épaisseur.

Elgg, 10 km. à l'E. de Winterthour. Le filon, d'une épaisseur moyenne de 30 cm., affleure sur le versant S. du Schneitberg. Il fut fouillé sur une surface ayant 230 m. sur 1400 m. et exploité au moyen de 3 galeries, de 1782 à 1837. En 1918, on a rouvert la galerie immédiatement à l'ouest de Birmenstall, où l'on trouve, dans le mur, des marnes grises, sableuses, et, dans le toit, de la Nagelfluh, en position presque horizontale. On en a retiré quelques échantillons d'un charbon brillant en feuillets minces.

Sennhof et *Kollbrunn* dans la vallée de la Tœss, à 4 km. au SE. de Winterthour. A „Ankenfelsen" près de Kollbrunn, on exploita à ciel ouvert, en 1917, un nid de charbon de 20 m. de longueur se renflant jusqu'à l'épaisseur de 40 cm.

Bichelsee, à 10 km. à l'W. de Wyl. En 1917, on fouilla également ici, à ciel ouvert, au voisinage des anciens travaux, un petit nid de charbon.

Embrach, 6 km. à l'W. de Winterthour. Schistes bitumineux épais de 60 cm. avec minces lits de charbon.

Raat, à 4 km. au SE. de Kaiserstuhl. Marnes très fossilifères et sable ébouleux (Schliesand). Trois lits de charbon, épais d'environ 10 cm., dans une couche de marne ayant 75 cm. de puissance. Exploitation en galeries vers 1789.

Greifensee. Un filon de 12—14 cm. d'épaisseur est maintenant encore occasionnellement exploité.

Käpfnach sur le lac de Zurich au S. de Horgen. Dans des couches marneuses, plongeant de 2 à 5° vers le N., on trouve, à quelques mètres au-dessus du niveau du lac de Zurich, un filon de charbon épais de 11 à 42 cm., avec une

intercalation de calcaire bitumineux à Helix. Au toit de la couche de charbon se trouve 0,25 m. de marnes à ciment portland et à sa base environ 2,5 m. d'argiles et de marnes, employées soit comme marnes à ciment romain, soit comme argiles à briques, soit enfin pour l'amendement des vignes. La surface totale du filon est estimée à 6 km.^{2}, dont un peu plus de 1 km.^{2} a été exploité. Ce gisement, signalé pour la première fois en 1548, fut exploité de 1784 à 1912; sa production totale est évaluée à 250,000 tonnes.

A environ 2 km. au SE. de l'exploitation principale de Käpfnach, se trouve l'ancienne mine, plus petite, de *Gottshalden*, où l'on a exploité jusqu'en 1902 sur une surface totale de 60 000 m^2. Le Flötz se trouve à 43 m. au-dessus du niveau du lac. La mine a été rouverte en août 1917. La couche a été trouvée inexploitée au sud et à l'ouest des anciens travaux, et elle est découverte, avec une épaisseur moyenne de 17 cm. sur une surface de 15 000 m^2. La production journalière est actuellement d'un wagon par jour.

Adliswil, au pied de l'Albis, *Teufenbach* et *Riedhof* (Aeugstertal) dans le Reppischtal supérieur, à l'W. de Thalwil. A environ 300 m. au-dessus du niveau à charbon de Käpfnach, la Molasse renferme de nouveau des filons épais de 6 à 40 cm. Le gisement de Riedhof livra, de 1787 à 1807, environ 1000 tonnes de charbon; on en a repris l'exploitation en 1917.

Sellenbüren, *Reppischtal* et *Spreitenbach* dans le Reppischtal inférieur à l'W. de Zurich. Le filon, près de Spreitenbach, a environ 12 cm. d'épaisseur et fut suivi au moyen d'une galerie longue de 100 m. On a récemment trouvé un filon épais de 40 cm., immédiatement au-dessus du moulin de Sellenbüren dans le versant gauche, fort abrupt, du Reppischtal.

Hägglingen, 4 km. à l'E. de Lenzbourg. Sur la Molasse marine reposent des calcaires d'eau douce avec „Pechkohle". On a découvert, à une profondeur de 10 m., un lit de charbon épais de 10 cm.

Gontenschwyl, à l'W. du lac de Hallwyl et *Büron* au N. de Sursee. Les dépôts d'eau douce, reposant directement sur la Molasse marine, renferment ici également du charbon qui fut entamé, vers 1788, au Schwarzenberg près Gontenschwyl, au moyen d'une galerie longue de 130 m. Près de Büron, on observe, au sommet et à la base du calcaire d'eau douce, un lit de „Pechkohle" ayant 1—2 cm. chacun.

b) Molasse d'eau douce inférieure de la Suisse occidentale.

Wynau. Un banc de charbon, épais de 7 cm., affleure à la base de la Molasse marine.

Frienisberg, au S. d'Aarberg. On a extrait, d'une ancienne galerie, des fragments d'un charbon brillant (Pechkohle) et des morceaux d'un charbon à feuilles (Blätterkohle).

Gurnigelwald, au N. et au-dessous des bains du Gurnigel. Minces lits de charbon brillant (Pechkohle).

Granges-de-Vesin, entre Payerne et Yverdon. Sur le versant gauche de la Petite Glane, entre Granges-de-Vesin et Franex, ainsi que près d'Aumont, on connaît de petits lits de charbon à la base de la Molasse grise marine.

Marsens, 4 km. au N. de Bulle. En 1892, on découvrit, dans une carrière, à 2 m. de profondeur, un filon de charbon de 10—15 cm. d'épaisseur.

Il faut mentionner qu'en 1888—89, un forage pour la recherche du charbon fut entrepris près de *Corpataux* sur la Sarine, à 7 km. au S. de Fribourg (sondage du Mouret); il fut poussé jusqu'à la profondeur de 100 m. et traversa la Molasse marine.

Châtillens et *Oron.* Les affleurements de lignites aquitaniens se trouvent au S. de Châtillens, dans la vallée de la Broye. et dans la vallée du Flon entre Oron-la-Ville, Oron-le-Châtel et Pont. Ils furent exploités près de Grand-Villard au SW. de Châtillens et près d'Oron, sur une distance de 6 km. Les filons ont une direction SW.—NE. et plongent d'environ 30° au SE. A Oron-la-Ville, une galerie, longue de 480 m., longe un filon vers le NE. Dans la vallée du Flon, un travers banc dirigé au SE. atteignit, vers 90 m., un filon inférieur, épais de 10—13 cm. et, vers 270 m. de l'entrée, un filon supérieur de 13 à 15 cm. La production s'éleva à 150 tonnes en 1881, elle fut de 119 tonnes en 1893 et de 31 tonnes en 1898. — Des sources ont été captées dans les deux anciennes galeries d'Oron; elles sont employées pour l'alimentation en eau potable de la ville de ce nom.

La zone d'Oron-Châtillens se prolonge vers le SW. jusqu'à Belmont-Paudex; mais sur les 10 km. qui séparent Châtillens de Belmont, on ne trouve des traces de charbon qu'aux environs de *Savigny* où l'on a même constaté l'affleurement d'un filon correspondant au „Gros filon“ de Belmont-Paudex.

Semsales. Dans l'épaulement montagneux, large d'environ 1 km., situé entre la vallée de la Mionnaz et celle de la Broye, une série d'environ 10 filons a été reconnue sur la distance d'à peu près 15 km. comprise entre les Thioleyres près de Palézieux (Vaud) et la Verrerie de Semsales (Fribourg). Ils ont une direction SW.—NE. et plongent de 20° à 50° au SE. Chaque filon se compose de plusieurs lits de charbon compact et de schistes charbonneux, pouvant avoir une puissance totale de 1—4 m. L'épaisseur maximale du charbon compact de tous les lits est de 80 cm. La couche exploitable par une taille n'est en moyenne que de 20 cm. — Les anciens travaux ont atteint 7 groupes de filons. Ils consistent en travers bancs d'une longueur totale d'environ 4,5 km. et en galeries dirigées dans les filons longues de 3,5 km. Les travaux de la mine de „Praz-Montésy" par exemple, étaient confinés dans le groupe de filons No. VI, dans lequel se trouvait une galerie longue de 1800 m.; dans la mine „Froumi", on a exploité le groupe de filons Nr. II sur une longueur de 800 m. Les mines de Semsales furent exploitées de 1806 à 1883 par la verrerie de ce nom; la production annuelle s'éleva à 1500—2000 tonnes. — Les exploitations situées sur le territoire minier du canton de Fribourg ont été reprises sur une grande échelle depuis le printemps 1917. On a ouvert un puits et des galeries sur le filon II près de St-Martin; on y a creusé le puits I, profond de 30 m., et un travers banc d'une longueur de 550 m. a coupé les filons II, III, IV, V et VI. On exploite les filons II et V par des galeries et des plans inclinés. La production actuelle est de deux wagons par jour. — Au SW. des anciens travaux de la Verrerie, on a percé la colline au moyen d'une galerie, longue de 536 m et n'y a trouvé d'exploitable que le filon VI.

Sur le territoire vaudois, on a trouvé le filon VI près de Bussigny à la Cergne dans une nouvelle galerie, et le groupe des filons I et II a été constaté près du village de Bussigny, à Pierra Confry et au bord de la Biordaz.

Paudex-Belmont. Dans les versants NW. et SE. de la vallée de la Paudèze entre Pully, Belmont et Lutry, un grand nombre de galeries et de puits ont été construits, sur un espace d'environ 4 km.², pour l'extraction de deux bancs de lignite plongeant d'à peu près 30 à 60° au SE.

Le charbon se rencontre dans la „Molasse à lignite", qui constitue le sommet de l'Aquitanien inférieur. Il repose au NNW., le long d'une surface de chevauchement plongeant

au SSE., sur la „Molasse grise“ de l'Aquitanien supérieur. Le charbon de Paudex-Belmont appartient à la zone de Châtillens-Oron, dont il forme la continuation au SW.

Entre Pully, Lutry et Belmont, on a construit, dans le niveau de la couche à charbon, à peu près 10 km. de galeries au total. Le filon s'abaissant au SSE., fut entamé, soit directement le long de son affleurement, soit au moyen de puits ayant de 18 à 33 m. de profondeur, puis suivi en direction par des galeries. Les exploitations les plus élevées sont les mines „Tröhler“ et „Liardet“ à l'altitude de 633 m., près de Belmont, soit à environ 250 m. au-dessus du niveau du lac Léman. Près du Moulin de Rochette, on a entamé la couche à charbon, en six galeries superposées, au-dessus et au-dessous de la voie ferrée, près de „La Conversion“; la couche y fut suivie en direction vers l'E. sur une distance d'environ 1 km. Les mines de „La Grangette“ et de „Bron“ (travaux usines Paudex et travaux Bron) appartiennent à ce groupe. A la sortie de la vallée de la Paudèze, des deux côtés de la ligne du chemin de fer Lausanne-Vevey, se trouve un troisième groupe de galeries. Le filon fut entamé ici au moyen des puits „Abetel“ et „Bermont“; il fut suivi par des galeries en direction vers l'W. jusqu'au-dessous de Pully. Les mines „Bermont“, „Junod“ et „Milliquet“ appartiennent à ce groupe. En rouvrant dernièrement le puits Bermont, profond de 33 m., on a constaté que l'exploitation a été poussée dans le filon de la Grangette sur une longueur de 200 m. environ, aussi dans la direction de Lutry.

Deux filons affleurent dans la mine „Grangette“; le „Petit filon“, supérieur, est épais de 0,05 à 0,08 m., l'inférieur ou „Gros filon“ a par contre 0,2 m. de puissance. Ils sont séparés par une couche intermédiaire de 5 m. d'épaisseur environ. Le „Gros filon“ seul, épais d'à peu près 20 cm., existe dans la mine Tröhler.

L'exploitation fut commencée au milieu du dix-huitième siècle. Dernièrement, comme à Käpfnach, on a profité de l'association du charbon à des marnes à ciment pour les exploiter tous les deux. La production maximale atteignit à peu près 1000 tonnes annuellement; en 1898 on a extrait par exemple 450 tonnes.

On a exploité, en 1914/15, pendant quelque temps, dans la mine „Grangette“. Actuellement la mine „Tröhler“, près de Belmont, est seule en activité.

A en juger d'après l'extension des anciennes mines, nous pouvons estimer la production totale de celles-ci à 50,000 tonnes, chiffre qui correspond assez bien aux données historiques. D'après un jugement tout à fait hypothétique, la contenance du champ minier entier peut être évaluée à 400,000 tonnes à peu près.

De même que la zone d'Oron se continue vers le SW. jusqu'à Belmont-Paudex, la zone de Semsales atteint aussi le bord du lac Léman près de Chexbres-Rivaz, où le charbon a été exploité par une galerie au commencement du XIXe siècle.

c) Nagelfluh subalpine.

Le charbon de la nagelfluh subalpine se rencontre dans les groupes montagneux du Hörnli, dans la Suisse orientale, et du Napf, dans la Suisse centrale, ainsi que sur le bord des Alpes entre St-Gall et Thoune. Plus à l'ouest, entre les lacs de Thoune et de Genève, le long des Préalpes, la Nagelfluh subalpine manque en général. Ce n'est que sur les bords du Léman qu'elle apparaît de nouveau dans le massif isolé du Mont Pélerin.

Nous y distinguons, stratigraphiquement, trois groupes différents:

1. Nagelfluh d'eau douce du Miocène supérieur du Hörnli à l'E. et de la région septentrionale du Napf à l'W.

2. Grès marins du Miocène inférieur près de Lucerne.

3. Formations d'eau douce du Miocène inférieur et de l'Oligocène supérieur en bordure des Alpes, de St-Gall à Thoune.

4. Molasse marine du miocène inférieur (Burdigalien), faciès à poudingues de la partie supérieure du Mont Pélerin.

1. Nagelfluh d'eau douce du Miocène supérieur.

a) Hörnli.

Niederzwyl, à 10 km. au SE. de Wyl. Depuis 1830, un filon épais de 30 cm., inclus dans des marnes charbonneuses et des calcaires d'eau douce, fut occasionnellement exploité.

Littenheid, *Dussnang* et *Fischingen*, dans le Murgtal supérieur près de Wyl. Petits lits peu épais dans des schistes

charbonneux et des calcaires d'eau douce, intercalés dans de la nagelfluh. Plusieurs courtes galeries furent construites près de Littenheid, vers 1838.

Schmidrüti, *Schalchen*, *Lipperschwendi* et *Kümmiwiesli* dans la vallée supérieure de la Töss. Schistes charbonneux noirs intercalés dans des bancs de nagelfluh.

b) Napf.

Hornbachgraben et *Kurzeneigraben* dans la vallée de la Grünen et *Luderenalp* sur le Napf, E. de Sumiswald. Des lentilles charbonneuses apparaissent le plus souvent sous forme de nid, intercalées dans des marnes calcaires d'eau douce et dans de la Molasse micacée, et alternant avec des bancs de nagelfluh.

Langnau, *Trubschachen* et *Blapbach*, dans la vallée de l'Ilfis. On exploita en galeries, de 1862 à 1870, près de Blapbach, à l'W. d'Escholzmatt, deux filons épais de 7 et 22 cm.

Fontannen, 6 km. à l'W. d'Entlebuch. Nids ayant livré quelques centaines de quintaux de charbon vers 1830.

2. Grès marins du Miocène inférieur (Burdigalien).

Les grès marins des „Couches de Lucerne", puissants d'environ 800 m., qui constituent le jambage N. du premier anticlinal de la Molasse, renferment des lits de charbon associés à des dépôts d'eau douce intercalés.

Un filon fut exploité, près de la Hofkirche, dans le rayon de la ville de *Lucerne* de 1830 à 1867. Près de *Littau*, à 4 km. à l'W. de Lucerne, les Couches de ce nom plongent de 82° vers le S., sur le versant N. du Sonnenberg. Elles renferment un filon, épais en moyenne de 30 cm., localement écrasé; il fut exploité de 1853 à 1881 au moyen de 4 galeries d'une longueur totale de 570 m. Dernièrement les travaux en ont été repris. A 1 km. au SW. de Littau, le Flötz du Sonnenberg est entamé à l'altitude 666 m. par un travers banc de 138 m. de longueur, et a été suivi en direction sur une distance totale de 260 m. environ. La production mensuelle en 1918/19 s'éleva à 130 t.

3. Nagelfluh d'eau douce du Miocène inférieur et de l'Oligocène.

Martinstobel (Schaugentobel) dans le Goldach à l'E. de St-Gall et *Sturzenegg* sur l'Urnäsch au SW. de St-Gall. Dans le *Martinstobel* (Schaugentobel), à 5 km. à l'ENE. de St-Gall,

quelques filons de charbon se trouvent dans la Nagelfluh d'eau douce du Miocène inférieur, au-dessous de la Nagelfluh polygénique marine du Burdigalien. Quelques centaines de quintaux de charbon y furent extraits, jusqu'en 1892, au moyen de galeries. On a rencontré les mêmes filons dans la galerie de la „Wasserkraftanlage an der Goldach“ à 1 km. plus au NE.

Baschloch, 2 km. au SE. de Trogen et *Engenhütten*, 5 km. au NW. d'Appenzell. Des grès riches en restes de plantes, des schistes charbonneux ainsi que de minces lits de charbon brillant (Glanzkohle) et de fragments de bois flotté se trouvent à la base de la nagelfluh polygénique.

Rufi, 6 km. au N. de Schänis. Un filon de „Pechkohle“, épais en moyenne de 32 cm., est intercalé dans la Molasse plongeant de 70° au SSE. Des schistes et des calcaires bitumineux ainsi que des argiles accompagnent le filon. Cette couche, puissante d'environ 50 cm. est interstratifiée dans des bancs de grès et de nagelfluh. Le filon fut retrouvé dans le Wengibach à une distance de 4 km., à l'E. des anciennes exploitations. Au-dessous du filon principal du Nässibach, on trouve du „Nestkohle“ dans les grès et un deuxième filon a été constaté dans le Maseltrangerbach.

Le charbon de Rufi est comparable aux „Pech-, Glanz- et Gaskohlen“ de Bohême, ainsi qu'aux charbons oligocènes du Zsiltal en Transylvanie, qui se rapprochent de la houille.

Le charbon de Rufi occupe une place spéciale dans la série des charbons suisses du tertiaire. Il est remarquable par sa haute teneur en H et en substances bitumineuses. C'est pourquoi il produit un gaz d'un très haut pouvoir calorifique, et on peut en extraire un goudron contenant une huile minérale analogue au pétrole ainsi que de la paraffine. D'après d'anciennes données, 100 kg. de charbon donnaient 30 m^3 de gaz et 10—14 kg. de goudron ayant une teneur de 0,9 à 1,5 % de paraffine.

La mine de Rufi fut exploitée de 1824 à 1869; de 1859 à 1865, on vendit environ 80,000 quintaux de charbon. Au-dessus du niveau de la vallée, le filon fut exploité par cinq galeries superposées, entre 480 et 612 m. d'altitude; au-dessous du niveau de la vallée, on a ouvert trois galeries jusqu'à la profondeur de 60 m. La longueur totale des galeries atteint 2000 m. environ.

L'exploitation de la mine de Rufi a été reprise en grand en 1917. La production en 1918/19 s'élève à 4160 t. par

an. Par les nouveaux travaux, on a rouvert les anciennes galeries au-dessous du Thalweg à 36 et à 60 m. de profondeur, et suivi le filon jusqu'à 500 m. en direction N. 52° E. Il a fallu traverser sur un assez grand espace les anciennes exploitations et à 200 m. du puits, on a traversé une zone d'écrasement de 120 m. de longueur maximale, après laquelle le filon reprend sa direction et sa composition normales. — A l'avancement de la galerie du niveau II, à 400 m. du fond du puits, on a constaté dans les schistes argileux gris la coupe suivante, épaisse de 93 cm: 1° Pierre-porc avec minces lits de charbon, 16 cm; 2° charbon pur massif, 28 cm; 3° pierre-porc, 12 cm; 4° charbon schisteux, écailleux, 10 cm; 5° pierre-porc, 12 cm; 6° charbon schisteux écailleux 15 cm.

Tunnel du Ricken. Vers 1210 m. à partir du portail N., le „Bildhauersandstein" renferme une couche d'environ 1 dcm. d'épaisseur de charbon et de calcaire fétide fossilifère. A 2100 m. de l'entrée N., une nouvelle couche de charbon apparaît au sommet d'un banc de Nagelfluh. — Le charbon contient 7,3 % de cendres, et son pouvoir calorifique est de 6350 cal. kg. Le combustible exempt de cendres et asséché se compose de: C = 78,7 %; H = 5,3 %; O + N = 12,7 %; S = 3,3 %, valeurs qui démontrent clairement son analogie complète avec le charbon de la Nagelfluh subalpine (Littau par exemple).

Echeltswil près Goldingen, 6 km. au N. d'Uznach. Une couche de marnes charbonneuses, épaisse d'environ ½ m., apparaît à la base d'un banc de nagelfluh; elle renferme de minces lits et des lentilles de charbon. Tentatives d'exploitation en 1842, 1871 et 1918. (Production de 1818 = 10 t.)

Hohe Rone près d'Einsiedeln. Du SW. au NE., sur une distance d'environ 4 km., du charbon, épais de 18 à 21 cm., fut entaillé aux localités suivantes: Steinerfluh, Wurf, Greit et Ob. Sparen. Les couches plongent de 20 à 30° au SE. Au toit du filon apparaissent, sous des nagelfluh polygéniques, des marnes gris-bleu avec de très nombreux restes de plantes. Les mines furent en activité de 1836 à 1844 et en 1860/1861.

Schlundtobel près de Horn et Rosenbodenalp au S. de *Schwarzflühli* près de Lucerne. Des filonnets, épais de 1 dcm. et des nids furent fouillés dans la nagelfluh plongeant fortement au S.

Escholzmatt dans l'Entlebuch supérieur. De la Molasse dure, gris-bleu, intercalée dans la nagelfluh, renferme des

marnes foncées avec de très nombreuses et fines lentilles de charbon. Un filon épais de 30 à 35 cm. fut découvert en 1885 dans le Blässelgraben.

Eriz, à 10 km. à l'E. de Thoune. Entre deux bancs de nagelfluh, affleure de la Molasse sur une épaisseur de 5 m.; elle renferme 0,02 de charbon en feuilles (Blätterkohle) et 0,5 m. de marnes foncées avec lentilles de charbon.

Grüsisberg, 1 km. au NE. de Thoune. Dans des marnes situées entre deux bancs de nagelfluh, on exploita un filon de „Pechkohle", épais de 2 cm.

4. Nagelfluh marine du Miocène inférieur.

Mont Pélerin.

Attalens, à 4,5 km. au nord de Vevey. Près des hameaux de l'Auge et de la Reyresse, entre des bandes de Nagelfluh, se trouvent, dans des grès, des nids de lignite. Près de Jongny, à 1,5 km. au nord de Vevey, on a découvert, dans de la Nagelfluh, une couche écrasée de houille, dont on a exploité quelques quintaux.

3. Charbons éocènes des Alpes.

L'éocène moyen (Auversien et Priabonien) renferme à certains endroits des Alpes des couches de charbon. Elles sont associées à des sédiments d'eau douce et souvent elles sont accompagnées de „Bohnerz". Primitivement c'étaient des lignites qui ont pris souvent l'aspect de l'anthracite. Les gisements en sont les suivants:

Gadmer-Fluh, au SW. du Titlis. Deux petits bancs de lignite, épais chacun de 30 cm., renferment 55 % de carbone.

Engelhörner près Rosenlaui. L'Eocène, reposant sur le Malm, renferme des lignites entre Rosenlaui et l'Urbachtal. Nous rencontrons des schistes charbonneux atteignant jusqu'à 5 m. de puissance au-dessus de Rosenlaui-Bad, sur le versant W. des Engelhörner; on les observe en outre au Schellibach sur le côté S. de ceux-ci, vers Urbach, où il renferment 12 % de C.

Au sud du *Lac de Thoune*, des filons de lignite sont signalés sur le versant SE. des *Ralligstöcke*, au *Niederhorn* et sur la *Gemmenalp*. Ils gisent dans des couches saumâtres qui s'intercalent dans les grès à nummulites du Hohgant (Auversien). — Le filon du Niederhorn plonge de 15° au SE. Son épaisseur est de 2—6 cm. Il fut exploité de 1784—1843

au moyen de 10 galeries. Il a livré annuellement, à l'usine à gaz de Berne 4000 quintaux de charbon. D'après deux analyses donnant des résultants concordants, le charbon éocène du Niederhorn ne diffère pas du charbon oligocène de la Nagelfluh subalpine. — A la Gemmenalp, il se trouve d'anciennes galeries, surtout à Oberberg.

Kandergrund, 5 km. au S. de Kandersteg. 1. Sur le côté occidental de la vallée, sur le versant oriental de l'Elsighorn, à l'ouest et au-dessus du Riegelsee, on a trouvé et mis à découvert, entre 1300 et 1350 m. d'altitude, des schistes charbonneux avec des nids de charbon dans les sédiments d'eau saumâtre du Priabonien.

2. Sur le côté oriental de la vallée, au nord et au sud du ravin du Bünderbach, à environ 1800 m. d'altitude, on peut suivre, du Tschingel au sud jusqu'au Grimer au nord, une mince couche de grès du Hohgant (Auversien) dans le toit de l'Urgonien. Dans ce grès se trouvent de minces couches de charbon, alternant avec des sédiments d'eau saumâtre. Dans le tunnel arqué de Mitholz (ligne du Lötschberg), on a retrouvé ces mêmes couches avec du charbon.

3. Au sud de la gare de Kandergrund, près de l'endroit nommé Enggibruck, on a trouvé une ancienne galerie qui, vers 1840, avait mis au jour quelques traces de charbon.

Diablerets. Une couche de charbon, décrite pour la première fois en 1789, se trouve dans la paroi S. des Diablerets, à l'altitude de 2700 m., au-dessous du sommet appelé Tête Ronde ou de La Houille, 3034 m. Le charbon y forme une couche puissante de 4 m., intercalée dans des dépôts d'eau douce du Priabonien inférieur, reposant eux-mêmes sur des grès ferrugineux sidérolithiques. Comme le montre l'analyse du tableau Pl. I, ce charbon se caractérise comme une houille, qui trouve ses analogues parmi les houilles jurassiques des couches à Mytilus. Des gisements analogues se trouvent au S. du Col du Pillon, sur Praz Doran; en outre, les couches à *Cerithium Diaboli* reposant sur les calcaires urgoniens des Lapiés de Tsanfleuron, au Col du Sanetsch, sont également charbonneuses.

B. Charbons du Mésozoïque.

Les sédiments mésozoïques du Jura et des Alpes suisses sont principalement constitués par des dépôts marins. Les conditions favorables à la formation du charbon furent ainsi

très limitées dans le temps et dans l'espace. Des traces de charbon existent dans le Keuper du Jura. Dans les Alpes, ce n'est que le facies du Dogger, Couches à Mytilus, confiné aux Alpes calcaires de la Suisse occidentale, qui renferme du charbon.

1. Jura. Charbons du Keuper.

Le Mésozoïque du Jura renferme des traces de charbon dans le Keuper. La division supérieure du Trias germanique, le Keuper, est constituée dans le Jura, par une série de strates, ayant jusqu'à 100 m. d'épaisseur, consistant en marnes bigarrées, grès et gypse. Les restes de plantes sont fréquents dans le „Schilfsandstein" (Neue Welt); on y trouve occasionnellement des couches charbonneuses, plus rarement de petits filons de charbon. La division inférieure du Keuper se nomme „Lettenkohle". Le Keuper est représenté surtout dans le Jura tabulaire; il apparaît également dans le noyau des plis jurassiens.

1. Dans le Jura tabulaire, des trouvailles de charbon sont signalées dans les localités suivantes: Au Heuberg près *Kaisten*, SW. de Laufenburg, on fouilla des nids de charbon dans les couches supérieures du Keuper (voir tabelle Pl. I). On signale également du charbon à l'W. de *Magden*. Près de la ferme de *Sulz*, au S. de Muttenz, du charbon fut extrait, vers 1840, au moyen de quelques galeries; en 1893, un forage profond de 85 m. y traversa des couches charbonneuses.

2. Dans le Jura plissé, des charbons du Keuper se rencontrèrent aux endroits suivants: A *Mapprach*, à l'W. et au-dessus de Zeglingen, région du Hauenstein, près de *Titterten* et de *Bretzwil*, au pied N. de la chaîne du Passwang, à l'E. de *Neuhäuslein* au Passwang, près de *Cornol* au SE. de Porrentruy et au *Mittlerer Balmberg* dans le Weissenstein.

Vers 1810, la couche à charbon près de *Titterten* et *Bretzwil* „fut poursuivie sur une distance d'environ une heure et trouvée d'une épaisseur atteignant jusqu'à 21 pouces". — Sur le *Balmberg*, au Weissenstein, le charbon de la „Lettenkohle" fut exploité en galerie. — On construisit vers 1874, près de *Cornol*, dans le Keuper, un puits de 30 m. de profondeur, ainsi qu'une galerie, longue de 20 m., dans laquelle on rencontra 3 minces couches de lignite pyriteux.

Il est à remarquer qu'à 30—40 km. à l'W. de la frontière suisse, près de Gouhenans, à l'W. de Belfort, les charbons riches en soufre du Keuper sont exploités avec une production

annuelle d'environ 30 000 t. Les charbons riches en soufre de Gouhenans furent traversés en 1917 à la profondeur de 621 à 622 m. dans le sondage pour la recherche du charbon de „Buix“ au Nord de Porrentruy.

2. Alpes. Charbons des Couches à Mytilus.

On désigne sous le nom de Couches à Mytilus, l'étage Bathonien du Dogger, tel qu'il est représenté dans la nappe des Préalpes médianes, à l'W. du lac de Thoune. Ces couches sont aussi nommées „Schistes à charbon“. Elles constituent un système de couches, épais d'environ 60 m., d'une part recouvert normalement par les calcaires du Malm, et reposant d'autre part sur les marnes et les calcaires du Lias ou sur la cornieule du Trias. Les couches charbonneuses sont localisées de préférence à la partie inférieure de la série, mais leur position n'est pas constante. Nous pouvons suivre les Couches à Mytilus dans deux zones: une zone septentrionale, qui s'étend du Stockhorn à travers les Gastlosen, le Pays d'En-haut et la vallée de la Grande Eau jusque dans le Bas-Valais et dans le Chablais; une zone méridionale, qui apparaît dans le Diemtigtal, au Rubli près de Saanen et à la Gummfluh.

Les charbons des Couches à Mytilus sont connus depuis longtemps comme étant „riches en gaz“. La mine de Klus près de Boltigen livrait autrefois du charbon pour la ville de Berne. D'après les analyses données sur Pl. I, on voit que les charbons des Couches à Mytilus sont identiques aux charbons carbonifères à gaz et à longue flamme, tels qu'ils sont connus par ex. dans le bassin houiller de la Moravie (Rossitz). Ils possèdent donc le véritable caractère de la houille typique. Ils donnent un coke boursoufflé et leur chaleur de combustion s'élève jusqu'à 8700 Cal. kg.

Les gisements de charbon des Couches à Mytilus les plus importants sont les suivants:

Sur le versant N. du Bas-Simmental, près d'*Erlenbach* et au *Weissenburgberg*, des schistes charbonneux de quelques dm. d'épaisseur se trouvent dans ces couches. Ceux d'Erlenbach furent exploités vers le milieu du XVIIIe siècle.

Les charbons de ces strates furent exploités surtout aux environs de *Boltigen* dans la Cluse de Schwarzenmatt, de plus à la Mittagfluh et à la Holzerfluh au NE., ainsi qu'à la Dürrifluh au-dessus de la Reidigenalp au SW. de la Cluse.

Dans les Couches à Mytilus, puissantes de 40—50 m., gisent 3—4 filons de charbon d'une épaisseur de 1—2 dcm. L'exploitation en commença vers 1760 et atteignit dans la 1ère moitié du XIXe siècle une certaine importance, les charbons étant utilisés par l'usine à gaz de la ville de Berne. Seize anciennes galeries y sont encore observables.

A la fin de 1916, on a rouvert l'ancienne „Mine de houille de Schwarzenmatt" dans la Klus, à 3 km. à l'W. de *Boltigen*. Les Couches à Mytilus qui traversent la vallée au sud de la Klusalp ont été atteintes par un travers-banc de 120 m. de long qui a traversé des éboulis du torrent et du Malm. On a tenté d'exploiter le charbon dans les couches à Mytilus au moyen de galeries de direction sinueuses, dirigées vers le NE. et le SW. Vers le SW., on y a trouvé une couche de charbon de 6 cm. d'épaisseur et vers le NE. des lentilles de charbon épaisses de 20 cm. Plus tard, dans le même groupe de Couches à Mytilus, on a rouvert et remis en activité les anciennes galeries de l'*Ebnetalp* (1650 m.) et de *Waldried* (1060 m.), à 2½ km. et à 5 km. au NE. de la Klus. — Sur l'*Ebnetalp*, une ancienne galerie a rencontré deux couches plongeant de 40° vers le sud. Un nouveau travers-banc à 46 m. au-dessous de l'ancien niveau, a percé la montagne du N. au S., avec une longueur de 242 m. A 126, 145 et 155 m. de l'embouchure nord, il a trouvé trois couches de 20 à 30 cm. d'épaisseur qu'on exploite depuis janvier 1919. — Près de *Waldried*, deux couches sont également suivies en direction. Le charbon y atteint en moyenne 5—10 cm. d'épaisseur, mais forme par places des nids ayant jusqu'à 80 cm. de puissance. En 1918, on y a exploité 33 wagons de charbon, et 20 en février, mars et avril 1919.

Sur le versant NE. des *Gastlosen*, au-dessus de Bellegarde (Jaun), deux galeries furent construites, à l'altitude de 1730 m., dans les Couches à Mytilus plongeant au SE.; du charbon y fut exploité de 1821 à 1832.

Les Couches à Mytilus renferment également du charbon dans le *Diemtigtal*, au *Diemtigbergli* et dans le *Tschuggenwald* au-dessus de Diemtigen, de même qu'au fond de la vallée, dans le versant E. du *Seehorn*.

Au *Rocher des Rayes*, sur Rougemont près Saanen, les Couches à Mytilus apparaissent, dans un pli très redressé, à la base du Malm. Ils y renferment, inclus dans des schistes charbonneux, des nids de charbon pur de plusieurs mètres d'épaisseur. Ce charbon est identique aux bonnes qualités du

Simmental. Du Rocher des Rayes, nous poursuivons ces couches avec schistes charbonneux, vers le SW., par la *Laitmaire* jusque dans le lit de la Sarine près de *Gérignoz*, à l'E. de Château d'Oex. Dans ces parages, un filon de schistes charbonneux épais d'environ 30 cm., a été constaté sur une distance de 150 m. près de Borsalet, ainsi que vers le pont voisin du „Rocher à Chien". Les schistes charbonneux renferment 60—70% de cendres.

Dans la vallée de la Grande Eau, sur Aigle, en aval de *Vuargny*, du charbon d'une faible épaisseur a été observé dans les Couches à Mytilus.

Près de Vouvry, au S. de Villeneuve, la nappe des Préalpes médianes du Chablais atteint la vallée du Rhône entre Monthey et le Bouveret. Le groupe des Cornettes de Bise est constitué par un système de plis superposés, déjetés vers le NNW. Les Couches à Mytilus s'y trouvent développées d'une façon presque constante entre le Malm et le Lias. Elles renferment du charbon: 1. à l'W. de Vouvry à *La Calaz*, *Combres* et *Blancsex*, 2. au NW. de Vionnaz, au-dessous de *Revereulaz*, et 3. au S. de Vionnaz près de *En Plex*. On exploita à Combres, vers 1850, deux lentilles de charbon, épaisses de 60 à 120 cm, au moyen de deux galeries. Les schistes charbonneux seuls sont généralement répandus dans cette région. Les échantillons de charbon pur démontrent l'équivalence du charbon de Vouvry avec les charbons du Simmental et du Pays d'En Haut.

IV. Charbons du Carbonifère.

A. Distribution géographique de la formation carbonifère dans l'Europe centrale.

(Cf. Pl. II. Verbreitung des Produktiven Obercarbons. Karte 1 : 4 000 000 ca.)

Dans la région occidentale de l'Europe centrale, la formation la plus riche en charbon, c'est l'étage supérieur du Carbonifère. Ce Carbonifère productif est répandu dans les districts houillers des deux rives du Rhin (Westphalie et Bas-Rhin), dans le bassin d'Aix-la-Chapelle, Liège, Namur, Mons, dans le bassin de la Sarre, au pied sud des Vosges près de Ronchamp et au bord oriental du Plateau central: Epinac-Autun, Creusot-Blanzy, St-Etienne, etc. L'ensemble du Carbonifère y comporte un système de sédiments atteignant 5000 m. de

puissance, et contenant des couches de houille, dont l'épaisseur totale s'élève jusqu'à 300 m. Stratigraphiquement, cette formation houillère appartient au Carbonifère supérieur, où l'on distingue trois étages:

Etage supérieur: Stéphanien (Ottweiler Schichten).
Etage moyen: Westphalien (Saarbrücker Schichten).
Etage inférieur: Namurien (Waldenburger Schichten).

Dans le bassin houiller de la Sarre, dont on a constaté le prolongement souterrain jusqu'au sud de Nancy, c'est-à-dire jusqu'à 120 km. de la frontière suisse, les couches de houille de deux étages sont développées: celles du Stéphanien et celles du Westphalien, séparées par une zone stérile. Les couches houillères des bassins français susmentionnés de Ronchamp, Blanzy et St-Etienne, sont par contre restreintes au Stéphanien.

Au nord et au nord-ouest de la Suisse, le Carbonifère est développé dans la région de la Forêt Noire, des Vosges et du Plateau central de France. Dans la *Forêt Noire*, le Carbonifère productif n'est présent que dans le nord: le Stéphanien apparaît près de Baden-Baden et de Lahr (Geroldseck), le Westphalien et le Namurien près d'Offenburg (Berghaupten). Dans le sud de la Forêt Noire, près de Badenweiler-Lenzkirch, il n'y a que le „Carbonifère inférieur" (Kulm), parfois riche en restes de plantes, mais sans couches de houille. Juste au bord du Rhin, près de Säckingen-Waldshut, on constate que le grès rouge ou le grès bigarré repose directement sur les roches primitives, et les forages de Rheinfelden (1875) et de Zurzach (1914) ont montré que le Carbonifère manque totalement dans cette région. — Au pied sud des *Vosges* s'étend le bassin de Ronchamp, à 40 km. au nord de Delle. — Vers le SW., les couches carbonifères se prolongent au-dessous de la plaine de la Saône, large de 80 km.; elles reparaissent dans le *Morvan* près d'Autun-Epinac et du Creusot-Blanzy. Sur le bord oriental du *Plateau central* de France, elles sont puissamment développées dans le bassin de St-Etienne et apparaissent encore près d'Aubenas et d'Alais dans les *Cévennes*.

Au nord-ouest, à l'ouest et au sud-ouest de la Suisse, sur une bande longue de 500 km., et large de 50 à 200 km. allant de Belfort à Alais, nous constatons donc la présence du Carbonifère supérieur productif, qui sans doute a été disloqué en bassins isolés à la suite de bouleversements tectoniques, mais dont les différentes parties appartiennent à un tout jadis

continu, c'est à dire au même géosynclinal. Du nord, du nord-ouest et de l'ouest, les couches plongent vers le sud, le sud-est et l'est; la continuation du Carbonifère français doit se trouver, en Suisse, profondément enterrées ous les couches mésozoïques et tertiaires du Jura, du Plateau et des Alpes calcaires, et ce n'est que dans les Alpes intérieures de la Suisse occidentale que ces couches du Carbonifère productif reparaissent au jour.

C'est des deux côtés de la vallée du Rhône en aval de Lyon que l'on voit le plus clairement quels rapports existent entre le Carbonifère alpin et l'extra-alpin. A l'ouest de la vallée du Rhône, dans la partie est du Plateau central, s'étend le bassin houiller de St-Etienne. Nous y trouvons la série complète des couches du Stéphanien; un horizon inférieur a 120 m. d'épaisseur et contient 5 filons exploitables, un horizon supérieur a 1300—1500 m. d'épaisseur et contient en tout 50—80 m. de charbon. Le Carbonifère de St-Etienne forme un synclinal dans lequel les couches plongent en pente douce du bord septentrional vers le sud, mais se redressent abruptement au bord méridional. Au point de vue tectonique, l'essentiel est que le Carbonifère de St-Etienne est en dehors du territoire du plissement tertiaire des Alpes. A l'est de la vallée du Rhône, dans les Alpes, on voit apparaître, dans les massifs de Belledonne et des Grandes Rousses ainsi que dans le Briançonnais, le carbonifère à anthracite, dont l'exploitation la plus importante est celle de La Mure. Stratigraphiquement, les couches de La Mure correspondent à la „Zone des Cévennes“ de St-Etienne; elles appartiennent au „Stéphanien moyen“. Autrefois le Carbonifère de St-Etienne était relié au Carbonifère alpin de La Mure et de Briançon, qui en est éloigné de 100 km. dans la direction du sud-est et de l'est. Quoiqu'ils soient stratigraphiquement identiques, c'est à dire du même âge, les charbons des deux territoires sont complètement différents: celui de St-Etienne est une houille grasse contenant 10—30 % de matières volatiles, celui de La Mure et de Briançon est un anthracite n'ayant que 5 % de matières volatiles. Dans les Alpes, le charbon présente le „facies alpin“. — Tandis que le Carbonifère extra-alpin du Rhône et le Carbonifère alpin de l'Isère sont encore relativement rapprochés, ils s'éloignent toujours davantage dans la direction du nord-est. Au S.-W., nous trouvons entre le carbonifère extra-alpin et le carbonifère alpin (St-Etienne-La Mure) une distance de 100 km., tandis qu'au N.-E. la distance analogue

(Ronchamp-Sion) s'élève à 180 km. Le Carbonifère des massifs centraux de Belledonne et des Grandes-Rousses, de même que celui de Briançon se continue vers le nord-est dans le système alpin et atteint ainsi, venant du sud-ouest, le territoire suisse, où il pénètre en deux zones, dans le Valais. Une zone externe, au nord-ouest, peut être suivie de La Mure près de Grenoble, en passant par Chamonix, jusqu'au Lac de Fully sur les pentes de la Dent de Morcles, sur une longueur de 170 km., et des affleurements isolés ont été constatés encore plus à l'est dans le Lötschental, au Titlis, au Bristenstock et au Tödi. La zone interne, au sud-est, s'étend de Briançon, par Moûtiers le Petit et le Grand St-Bernard, jusqu'à Sion et au Simplon, sur une distance de 250 km. Dans sa position et dans sa composition, le charbon de ces deux zones présente le „facies alpin", c'est-à-dire que ces charbons sont devenus de l'anthracite et que, lors du puissant plissement alpin de l'époque tertiaire, les couches ont subi de fortes dislocations. Le carbonifère de la zone externe est attribué au Stéphanien moyen; dans la zone interne prédomine le Westphalien. Les restes de plantes de la couche anthracitique du Tödi indiquent le Westphalien supérieur.

Au pied sud des Alpes, aux environs de Lugano, on rencontre encore une apparition isolée de Carbonifère supérieur, qui contient des restes de plantes à Manno, et dans lequel on a constaté la houille normale dans le Val Colla.

L'extension des bassins houillers en France, entre Ronchamp et St-Etienne, à l'ouest du Jura suisse, l'identité stratigraphique de ce carbonifère avec celui des Alpes occidentales, font paraître vraisemblable que le Stéphanien du Plateau central se prolonge vers l'Est, et que, dans ce géosynclinal, le carbonifère houiller se trouve enseveli, dans toute la Suisse occidentale, sous une épaisse couverture de sédiments plus jeunes. — C'est ainsi qu'au nord de la Suisse, dans l'Ajoie, au sud du bassin de Ronchamp, on peut s'attendre à trouver le charbon carbonifère au-dessous des sédiments mésozoïques horizontaux. Au sud-ouest de la Suisse, de nombreux sondages ont prouvé la continuation du Carbonifère de St-Etienne entre Lyon et Ambérieu sur une longueur de 60 km. Près de Torcieu, au S.-E. d'Ambérieu, le Stéphanien a été atteint à la profondeur de 550 m. au-dessous du mésozoïque et a été traversé jusqu'à 1600 m. de profondeur. Tout indique que ce Stéphanien se prolonge vers

l'Est pour atteindre, après un parcours de 50 km., le territoire suisse, où l'épaisseur de la couverture doit s'élever à beaucoup plus de 1000 m.

B. Le système carboniférien dans le Valais et sa continuation jusqu'au Tödi.

1. Conditions géologiques de la formation anthracitifère.

Le houiller du Valais et son prolongement à l'est jusqu'au Tödi appartiennent à un géosynclinal très étendu, qui contient du carbonifère supérieur productif. Nous ne pouvons constater que des fragments de cette formation. Sur de longs parcours, elle a été enlevée par l'érosion ou elle est profondément ensevelie sous des sédiments plus jeunes. La délimitation approximative de ce géosynclinal carboniférien est donnée par les points suivants (cf. Pl. II): Pignerol, Briançon, La Mure (Belledonne), Alais (Cévennes), Commentry (Plateau central), Sincey (Morvan), Lure-Ronchamp (Vosges) et Tödi-Simplon dans nos Alpes. Quant au parcours que suivait jadis, entre Belfort et le Tödi, à travers la Suisse, la limite orientale de ce carbonifère supérieur productif, nous l'ignorons. Nous savons seulement que sur le versant sud de la Forêt Noire, le carbonifère supérieur manque, le Permien y reposant partout sur le cristallin. Il est remarquable que, dans la plus grande partie de ce géosynclinal, c'est-à-dire dans toute l'étendue des massifs centraux alpins (Belledonne, Mont-Blanc, Massif de l'Aar), des Cévennes, du Plateau central, du Morvan et des Vosges, le Carbonifère supérieur repose en discordance sur les plis hercyniens formés par des sédiments paléozoïques plus anciens et par des schistes cristallins, et qu'il est recouvert, en discordance aussi, par la série des sédiments mésozoïques, tandis que, dans l'immense demi-cercle de la zone axiale du Briançonnais, entre Savone au bord de la Méditerranée et le Simplon, les schistes cristallins anciens forment une série concordante avec le Carbonifère et le Mésozoïque; les terrains carbonifères y sont en effet concordants aussi bien avec les terrains cristallins anciens sous-jacents qu'avec le Permien, qui est lui-même concordant avec le Trias et le Jurassique. Nous constatons que cette „zone axiale du Briançonnais“ a, seule dans toute l'Europe, échappé aux mouvements orogéniques qui, partout ailleurs, ont précéde et suivi la période carboniférienne supérieure. Ce n'est qu'à la fin

du Tertiaire que toutes les formations de la zone du Briançonnais ont été bouleversées par les mouvements orogéniques très intenses qui ont fait naître nos Alpes. — Le Carbonifère du Valais représente, comme nous l'avons déjà dit, la continuation directe de cette formation dans les Alpes françaises et italiennes. Ici comme là, la zone externe se rattache aux massifs centraux qui marquent le bord sud de l'Europe hercynienne, et la zone interne appartient à la „zone axiale du Briançonnais".

La zone externe du nord-ouest est liée au sud-ouest aux massifs hercyniens du Mont-Blanc et des Aiguilles Rouges, et au nord-est au massif de l'Aar. Elle entre en Suisse par le Col de Balme et s'étend, le long du Trient, du Châtelard à Salvan, traverse la vallée du Rhône, et, après avoir formé le large synclinal de Collonges-Dorénaz, disparaît au-delà de l'Alpe de Fully, sous les calcaires du massif du Grand Chavalard. Cette partie occidentale de la zone externe a une longueur de 20 km. environ. Entre la Dent de Morcles et le groupe du Balmhorn-Torrenthorn à l'ouest du Lötschenpass, le noyau hercynien, au nord du Rhône, est profondément enseveli, sur une distance de 50 km., sous l'épaisse couverture sédimentaire des Hautes Alpes calcaires. A l'est de la Lonza, où s'élèvent les masses sédimentaires du Torrenthorn, apparaît au jour l'extrémité occidentale du massif de l'Aar. Avec ce socle cristallin reparaît le houiller. De même que le massif de l'Aar qui surgit ici constitue la continuation du massif du Mont-Blanc, qui a disparu de la surface du sol dans la vallée du Rhône vis-à-vis de Saxon, de même le Carbonifère anthracitifère de Ferden dans le Lötschental indique aussi la réapparition de la zone externe du houiller, dont la continuation vers l'est se poursuit en lambeaux isolés jusqu'au Tödi. Le carbonifère de la zone externe est la formation la plus jeune qui apparaisse comme une partie intégrante des massifs centraux des Aiguilles rouges, du Mont-Blanc et du massif de l'Aar. Les schistes, les grès et les conglomérats carbonifères forment presque partout d'étroites zones encastrées dans des schistes cristallins. Dans la règle, les couches sont fortement redressées et leur direction suit en général celle des schistes cristallins plus anciens. Les couches d'anthracite à exploiter apparaissent donc toujours en position fortement redressée. Très souvent, elles peuvent être attaquées directement à l'affleurement, et suivies par des galeries en direction qui se superposent à des niveaux distants de 20 à 40 m. L'ex-

ploitation doit se faire par tailles droites et par tailles ascendantes.

La zone interne du sud-est en Valais est la continuation de la zone houillère du Briançonnais, de la Maurienne, de la Tarentaise et de la vallée d'Aoste. Elle entre en Suisse par le Grand St-Bernard, à partir duquel jusqu'à Sion, sur une distance d'à peu près 45 km., le Carbonifère est au jour sur une largeur d'environ 2 km. Après une interruption de 2 km. seulement vis-à-vis de Sion près de Bramois, à l'est de la Borgne, le Carbonifère reparaît dans le versant sud de la vallée du Rhône près de Grône, sur 12 km. de longueur, jusqu'à la Navigenze près de Chippis. Entre St-Léonard et la station de Granges, le Carbonifère contenant de la houille se montre aussi sur le côté droit de la vallée. A dix kilomètres à l'est de Chippis, la formation reprend près de Tourtemagne et de là se laisse suivre, en position fort compliquée, jusqu'à l'Hospice du Simplon, en passant par Viège et Stalden.

Sur tout le parcours de la zone interne, à ce Carbonifère se superposent vers l'intérieur des Alpes, c'est-à-dire vers le sud-est, les schistes cristallins antéhouillers de la zone du Grand St-Bernard, tandis que, vers l'extérieur des Alpes, au nord-ouest, le houiller se superpose lui-même aux schistes mésozoïques de la zone Val Ferret-Sion. Ces trois formations forment un système concordant plongeant vers le sud-est, dont les trois composantes essentielles se succèdent, du toit au mur, en position inverse. La zone carbonifère intercalée entre les schistes cristallins du toit et les schistes calcaires mésozoïques du mur a une puissance de 2000 à 4000 m. Sans doute ce n'est pas une série normale de couches simplement renversée, mais un système très compliqué de replis et d'écailles, comme le montrent les couches de Trias et de schistes jurassiques intercalées dans le Carbonifère en longues bandes ou en lambeaux isolés. Entre le Col de Fenêtre et la vallée du Rhône, à 4 km. à l'ouest de Sion, la bande carboniférienne est ainsi partagée par le Trias intercalé en une écaille supérieure et une écaille inférieure, renfermant toutes deux du charbon. Le calcaire triasique de cette zone médiane est très développé par ex. au Col de Fenêtre, au Six blanc sur Orsières, au Col des Etablons, plus loin au-dessus de Nendaz et dans la gorge de la Printze près de Aproz. Tandis qu'au sud-ouest, le Carbonifère de la zone externe de la vallée du Trient est éloigné d'environ 20 km. de celui de la zone interne près

d'Orsières, la distance des deux zones se réduit plus au nord-est, entre le Lötschental et Tourtemagne, à 7 km. seulement. Tandis que l'explication tectonique de la zone externe ne rencontre aucune difficulté sérieuse — ce sont des synclinaux pincés au milieu des schistes cristallins antéhouillers des massifs hercyniens que l'érosion a respectés —, il est difficile de donner une interprétation indiscutable de la nature tectonique de la zone interne. On a interprété la structure tectonique de cette bande houillière en admettant une voûte anticlinale en éventail, déversée et charriée vers le nord-ouest, dont le noyau normal anticlinal est formé par ce houiller, qui serait donc autochtone au milieu des Alpes. D'autre part on attribue ce houiller à une nappe exotique venant du versant sud des Alpes (nappe du Grand St-Bernard); le houiller de notre zone interne en Valais aurait dans ce cas, à la base du bord nord de cette nappe, la position de synclinaux repliés à noyaux renversés. Il y aurait non seulement un intérêt théorique, mais une certaine importance pratique à pouvoir reconstruire la voie par laquelle le Carbonifère de la zone externe se relie à celui de la zone interne. C'est là une question de géotectonique alpine qui ne peut pas être résolue en se bornant à l'étude du territoire suisse.

La bande carboniférienne de la zone interne traverse, à l'est de la vallée du Trient et au sud de la vallée du Rhône, la pente nord-ouest et nord des montagnes et s'abaisse du sud-ouest au nord-est d'environ 1800 m. à 500 m. d'altitude, atteignant ainsi vers Sion le fond de la vallée. Les couches plongent, avec l'anthracite, d'environ 35° vers l'intérieur de la montagne, vers le sud-est. Cette position des gisements nécessite dans les mines des méthodes d'attaque tout autres que dans la zone externe. Les couches anthracitifères qui affleurent sur la pente de la montagne présentent presque toujours, par suite de glissements, des dislocations superficielles caractéristiques, pénétrant jusqu'à 60 et 80 m. à l'intérieur, et qu'il s'agit d'éviter. Il faut donc les attaquer à l'intérieur par des travers bancs plus ou moins longs, pratiqués au mur du gisement. L'exploitation suit les couches en direction des deux côtés du travers banc par piliers longs et par piliers abandonnés, en serres longitudinales et en tailles montantes et couchantes. Les travers bancs et les niveaux d'exploitation, au nombre de cinq ou six, se superposent sur une distance verticale totale d'environ 100 m. et sont réunis entre eux par des plans inclinés.

Après avoir exposé la position tectonique générale du système carboniférien en Valais, nous avons à examiner sa position stratigraphique ainsi que sa composition pétrographique.

L'attribution d'une couche sédimentaire à un étage stratigraphique déterminé se base sur la détermination des restes fossiles d'animaux ou de plantes trouvés dans la couche. Par opposition à d'autres régions carboniférienne, le terrain carbonique ne contient dans les Alpes aucuns restes d'une faune marine; nous ne trouvons que des dépôts terrestres, qui, à côté de rares coquilles d'eau douce (Anthracosia), renferment une riche flore comprenant des Cryptogames (Fougères, Equisétinées, Lycopodinées) et des Gymnospermes. Notre Carbonifère appartient à la phase westphalienne et à la phase stéphanienne, dont chacune est caractérisée par des flores plus ou moins distinctes, à l'aide desquelles on peut établir les rapports entre le carbonifère alpin et l'extra-alpin. — Le Carbonifère de la zone interne (zone axiale du Briançonnais) doit être rapporté au Westphalien moyen et au Stéphanien inférieur. Tandis que dans les Alpes occidentales jusqu'au delà du Petit St-Bernard, les trouvailles de plantes fossiles sont relativement fréquentes dans la zone interne, par contre dans le Carbonifère entre le Grand St-Bernard et le Simplon, on n'a trouvé que rarement des restes de plantes. On a récemment découvert l'Annularia à Champdonne. Les restes végétaux trouvés dans la zone externe indiquent en général un âge un peu plus jeune, et les couches sont attribuées au Stéphanien moyen (étage des Cévennes et étage des Cordaïtées). Par opposition à la zone interne, la zone externe, dans son parcours entre le Col de Balme et le Tödi, est relativement riche en localités fossilifères. Les grès à grains fins qui accompagnent les couches d'anthracite, sont souvent complètement remplis de restes de plantes indéterminables; les schistes ardoisiers contiennent, sur les surfaces des couches, des empreintes de plantes dont la substance organique est remplacée par une substance minérale fibreuse, séricitique, d'un éclat soyeux. Les localités fossilifères les plus connues entre le Col de Balme et le lac de Fully sont le Col de Balme, Trient (Revenettes), les ardoisières de Salvan et de Vernayaz, les environs de Plex et d'Arbignon au-dessus de Collonges. Les végétaux fossiles les plus fréquents dans les environs d'Arbignon sont des Cor-

daïtes, des Equisétinées (Asterophyllites et Annularia) et des Fougères (Pecopteris et Neuropteris, etc.).

Le gisement du Bifertengrätli au Tödi a fourni des espèces (Linopteris Münsteri et Sphenophyllum majus) dont la présence établit pour ces couches l'âge du Westphalien supérieur (Obere Saarbrücker Schichten). D'après cela, le Carbonifère du Tödi devrait être, au point de vue stratigraphique, mis en rapport avec celui de la zone interne dans les Alpes occidentales plutôt qu'avec celui du massif du Mont-Blanc, avec lequel il concorde au point de vue tectonique.

La composition pétrographique des sédiments carbonifères, correspondant à leur caractère limnique, est détritique et manque de calcaire. Les roches du houiller sont en général des conglomérats, des grès et des schistes de couleur sombre. Les couches anthracitifères sont dans la règle liées à des schistes argileux qui alternent avec des grès. Les deux zones présentent aussi certaines particularités en ce qui concerne la composition pétrographique des roches et la succession des couches.

Dans toute la zone externe, les conglomérats atteignent une extension générale. La bande synclinale du terrain houiller de Trient entre le Châtelard et Vernayaz se subdivise en gros en trois zones principales. La zone centrale est essentiellement schisteuse, tandis que les zones latérales sont composées surtout des conglomérats connus sous le nom de „poudingues de Vallorcine“, qui forment les parties basales du Carbonifère. Les éléments de ce poudingue sont en majorité des fragments de quartz; en outre on trouve des granits, des granulites et des micaschistes, mais pas trace de calcaires. La nature de ces conglomérats rappelle en tous points les roches qui constituent leur soubassement cristallin, dont la dénudation a livré ces matériaux. — Les schistes du houiller sont des grès schisteux ou des schistes ardoisiers, dans lesquels, aux éléments roulés, détritiques, s'ajoutent des éléments d'origine secondaire, cristallisés dans la roche. Les schistes ardoisiers proprement dits, qui sont exploités à Salvan et à Vernayaz, contiennent en grande quantité des matières argileuses et de l'anthracite pulvérulent. L'absence ou la rareté des carbonates est de même un des caractères distinctifs des ardoises carbonifères. — Le synclinal de Collonges-Dorénaz sur le versant nord-est de la vallée du Rhône consiste également en une série de conglomérats, de grès et de schistes ardoisiers. Dans son jambage nord-ouest, près

de la mine de Collonges, le terrain houiller commence par un poudingue grossier, d'une puissance de 30 m. environ. Ensuite vient, sur une épaisseur de 200 m. environ, un système de grès et de conglomérats qui comprend plusieurs intercalations de schistes renfermant les couches d'anthracite exploitées. Au-dessus de ce groupe de couches anthracitifères se développe l'horizon des schistes ardoisiers riches en restes de plantes, et par-dessus s'étendent les „poudingues rouges". Dans le jambage sud-est du synclinal, près de Dorénaz, le Carbonifère commence également par des bancs d'un conglomérat (Riesenkonglomerat) qui repose en discordance sur les schistes cristallins; puis vient une assise schisteuse inférieure, où l'on exploite les ardoises, ensuite la puissante zone du poudingue moyen, et enfin l'assise schisteuse supérieure, qui contient les couches d'anthracite de la mine Méreuna. Les „poudingues supérieurs", qui, au nord de Pacotaires jusqu'au delà de Plex, au-dessus de la mine de Collonges, représentent le noyau exempt de charbon du synclinal, c'est-à-dire ses horizons supérieurs, sont remarquables par la prédominance des poudingues rouges, caractérisés par leur ciment rouge-violet et alternant avec des schistes lie-de-vin. Le pigment anthracitique, qui produit la couleur sombre des sédiments carbonifères sous-jacents, disparaît ici complètement. Nous constatons le même fait dans tous les bassins houillers: au-dessus des sédiments de couleur sombre où gisent les couches de houille, la couleur rouge apparaît dès qu'il n'y a plus de couches de houille. Mais le changement de couleur ne coïncide pas avec la limite de la formation et n'indique donc aucunement le commencement du Permien.

Le Carbonifère appartenant au massif de l'Aar qui a été atteint dans le tunnel du Lötschberg et dont l'anthracite est exploité près de Ferden, ne contient pas de conglomérats; les couches d'anthracite redressées gisent dans des schistes houillers sableux, qui sont accompagnés des deux côtés par des schistes sériciteux d'un gris vert clair, formant la limite avec les schistes cristallins anciens.

Les roches qui composent le houiller de la zone interne (zone axiale du Briançonnais) sont des grès micacés, des psammites, des poudingues quartzeux et des schistes argileux. Les grès à fin grain ainsi que les schistes argileux sont toujours imprégnés d'une matière charbonneuse et colorés en noir. Les couches d'anthracite sont associées à eux. Les poudingues du type du conglomérat de Vallorcine, contenant

des galets de schistes cristallins originaires des massifs centraux sous-jacents, font défaut dans le houiller de la zone interne.

En Italie, des deux côtés de la Doire Baltée près de Morgex, les sédiments du houiller forment, en une bande large de 2 à 3 km., un système de couches plongeant vers le sud-est, donc la moitié nord-ouest, au mur, se compose de schistes anthracitifères et de psammites, tandis que la moitié sud-est, au toit, se compose de grès micacés et de poudingues gneissiformes. Au nord-ouest, ce système repose sur le Trias et le Lias; au sud-est, il est surmonté par des schistes cristallins antéhouillers. Vers le nord, en Suisse, cette succession de couches se complique énormément, mais la position générale de la bande houillère entre les schistes cristallins de la zone du Grand St-Bernard au toit et les schistes lustrés mésozoïques au mur reste la même. Nulle part en Suisse, pas plus que dans les Alpes françaises et italiennes, nous ne trouvons les schistes cristallins formant le substratum normal du houiller de la zone du Briançonnais.

Entre le Grand St-Bernard et le Val de Bagnes, la formation carbonifère est séparée en deux par une bande de Trias, le Trias médian; dans les parties du nord-ouest, au mur de ce Trias, nous trouvons des schistes argileux sombres qui contiennent les couches d'anthracite, tandis qu'au sud-est, au toit, prédominent des psammites à gros grain et des schistes séricitiques quartzeux, qui sont assez souvent difficiles à distinguer des schistes cristallins antéhouillers de la zone du Grand St-Bernard. Au nord du Val de Bagnes, les roches de la partie sud-est de la zone carbonifère sont aussi surtout des schistes séricitiques quartzeux d'un gris vert. Mais ici, ces schistes carboniférien sont séparés des schistes cristallins antéhouillers du toit par le Trias que l'on peut suivre jusqu'à Chippis. C'est directement au-dessus de la zone médiane de Trias, au milieu de schistes séricitiques, que se trouvent les couches de charbon de la mine d'anthracite de Vernay, et plus au nord-est celles de Forêt des Etablons et de Batindy au sud d'Isérables. Au mur du Trias médian apparaissent des ardoises noires feuilletées, qui se continuent en horizon constant jusqu'au-delà d'Isérables, et qui contiennent les couches d'anthracite de Verbier, des Etablons, ainsi que celles de Moulin, Tell et Félix près d'Isérables. — Aux environs d'Isérables, toute la zone carboniférienne est traversée, sur

3 km. de longueur, par la vallée de la Fara. Tandis qu'ici, au toit du Trias médian, au-dessus d'une zone étroite d'ardoises, les roches prédominantes sont des schistes sériciteux et quartzitiques gris et noirs, au mur du Trias médian, le carbonifère est caractérisé par un fort développement de conglomérats. Ici, directement au mur du Trias médian, apparaissent d'abord des ardoises avec des bancs intercalés de schistes sableux, atteignant jusqu'à 200 m. d'épaisseur. Les couches d'anthracite de Tell et de Félix, de même que celle de Forêt du Ban jusqu'En Bètoz, appartiennent à cette zone. La partie inférieure du Carbonifère, puissante d'environ 400 m., est caractérisée par la prédominance de poudingues et de grès quartzitiques avec des couches de schistes argileux peu épaisses. Ces roches détritiques présentent un facies très métamorphique; elles sont toujours extrêmement laminées, très quartzeuses et de teinte gris-vert. Dans les poudingues à gros grains, le quartz prédomine; il y forme de gros galets laminés et des bandes froissées et sectionnées par le laminage. Une séricite vert clair enveloppe le quartz. Dans les horizons inférieurs de ces poudingues et grès quartzeux, apparaissent les couches des schistes argileux, dont l'épaisseur varie entre 10, 20, 30 et 40 m. C'est avec eux que sont liées les couches d'anthracite qui sont exploitées dans la gorge de la Fara, près d'Isérables et près de Condemine. Fait remarquable, ces poudingues d'Isérables contenant les intercalations de schistes argileux avec anthracite disparaissent bientôt au sud-ouest de la vallée de la Fara, vers le Col des Etablons, et de même vers le nord-est, à 1,5 km. d'Isérables, ils se perdent peu à peu aux environs de Condemine. — Sur le parcours, long de 5,5 km., entre Condemine et la gorge de la Printze près d'Aproz, le Trias médian sépare le Carbonifère, puissant de 2000 m. environ, en une écaille supérieure et une écaille inférieure Dans l'écaille supérieure prédominent des grès schisteux, qui, dans les horizons inférieurs, contiennent des schistes argileux avec des couches d'anthracite. Au-dessus du Trias médian, nous trouvons ainsi les couches d'anthracite à l'ouest de Mauvais Four et dans la coupe de la gorge de la Printze à 150 m. et à 800 m. au-dessus du Trias médian. Le Carbonifère directement au mur du Trias médian consiste en une zone de schistes, puissante d'environ 200 m., qu'on peut suivre, à partir de la Mine Moulin dans la gorge de la Fara, par En Bètoz et Mauvais Four, jusqu'à Coor et à Plan Baar, des deux côtés de la

gorge de la Printze. A la Mine Mauvais Four on trouve à 80 m. au-dessous du Trias médian, dans une coupe épaisse de 80 m., trois couches d'anthracite, qui sont enfermées dans des lits d'ardoises épais de 5 à 10 m. et séparés les uns des autres par des lits de grès de quelques mètres d'épaisseur. A Aproz, des deux côtés de la Printze, nous trouvons, dans l'écaille inférieure du carbonifère, au-dessous des ardoises qui en forment le toit, des grès et des conglomérats riches en quartz. Ils sont extraordinairement plissés et fissurés, et contiennent, très inégalement réparties, des couches de schistes très peu épaisses, qui renferment l'anthracite. Au toit de cet anthracite, les grès sont imprégnés de pyrite dans une zone qui peut atteindre quelques mètres d'épaisseur. — A l'est de la Printze, le Carbonifère de l'écaille inférieure, au mur du Trias médian, ne se poursuit plus que sur une longueur de $1^1/_2$ km., au pied du versant de la montagne. Il se compose dans ses parties inférieures de grès et de conglomérats épais de 300 m., tandis que ses parties supérieures sont formées par des schistes épais de 150 m. qui renferment des couches d'anthracite.

Entre Salins et Chippis, tout le Carbonifère appartient à l'écaille supérieure, au toit du Trias médian. Notons dans cette partie l'absence presque complète de conglomérats, de même que le peu de développement des ardoises; les sédiments prédominants y sont donc des grès de grain très variable, riches en mica, généralement bien lités, et prenant des teintes brunâtres en se décomposant. Ces grès montrent tous les passages d'un côté aux quartzites schisteux et de l'autre aux schistes argileux sableux. — A la mine Chandoline, les trois couches principales (Transvaal, Berne et Mayens) sont liées à des bancs de schistes épais de 3 à 5 m., qui sont séparés par des bancs de grès de 14, de 7 et de 20 m. d'épaisseur. Dans la région de la mine de Bramois, nous trouvons une succession analogue de grès et de schistes argileux. Les grès renferment par endroits des galets de quartz de grosseur variée. — Le Carbonifère qui longe la vallée du Rhône entre Grône et Chippis sur une longueur de 10 km., est mis à découvert dans sa moitié occidentale par les travaux des mines. Ici encore, une bande de Trias sépare le Carbonifère sous-jacent des schistes cristallins antéhouillers superposés. Le houiller y atteint au-dessus du niveau du Rhône une épaisseur de 300 m. et renferme quatre couches d'anthracite. Entre des schistes argileux gris et noirs, souvent séricitiques,

et irrégulièrement stratifiés, auxquels sont liées les couches d'anthracite, apparaissent des bancs de grès grisâtres à grain fin, très quartzeux, et irrégulièrement répartis. — Près de Tourtemagne apparaît de nouveau le houiller anthracitifère, dans des conditions tectoniques fort compliquées, renfermant des intercalations de Jurassique et de Trias. Les couches contenant l'anthracite sont ici des ardoises noires, sur lesquelles reposent des schistes séricitiques quartzeux de couleur claire. Les ardoises, au contact avec l'anthracite, sont souvent imprégnées de pyrite. — Dans la vallée de la Viège près de Stalden, on constate encore la continuation du houiller de Tourtemagne. A l'issue des vallées de Saas et de St-Nicolas nous trouvons, directement superposée aux schistes lustrés jurassiques plongeant vers le sud, la grande masse des roches cristallophylliennes de la zone du Grand St-Bernard. A la limite de ces deux formations, où manque le Trias, ainsi que plus loin parmi des schistes cristallins, apparaissent des schistes graphiteux qu'on a attribués au Carbonifère. Le charbon y est constaté sous la forme de lentilles graphitiques, surtout à Akersand au-dessous de Stalden et à la Gsponfluh à l'est de Stalden. Les sédiments du Carbonifère dans cette région sont puissamment dynamométamorphisés, de sorte que la limite entre les schistes cristallins d'âge antéhouiller et les roches qu'on doit attribuer à un Carbonifère métamorphique est très peu marquée. Le facies métamorphique envahit tout la formation. Il n'y a que la présence de la matière anthracitique qui indique le houiller.

2. La nature du charbon.

Le charbon du houiller valaisan est tout à fait anthracitique; il réalise son „facies alpin". C'est dans l'anthracite que la transformations de substance végétale vivante en „combustible fossile" atteint sa limite.

1. La composition chimique détermine les caractères essentiels de la nature du charbon, et il nous faut considérer d'une part la composition du charbon brut, du „tout-venant" de la mine, et d'autre part celle du charbon pur, du combustible exempt de cendres et asséché.

La nature du charbon pur est déterminée par la proportion quantitative de C, H et O + N qu'il contient. Au cours du procès de carbonisation, la teneur en carbone augmente constamment, tandis que l'hydrogène et l'oxygène di-

minuent proportionnellement. Les charbons qui présentent les derniers degrés de carbonisation sont: la houille, l'anthracite, l'anthraxolite, la schungite, la graphitite et le graphite. L'ensemble de la série de carbonisation est représenté par le tableau suivant:

	C %	H %	O+N %
Bois	50	6	44
Tourbe et lignite feuilleté	60	6	34
Lignite	70	6	24
Pechkohle	78	5	17
Houille	84	6	10
Anthracite	93	3	4
Anthraxolite	**95**	**1**	**4**
Schungite	99	0,5	0,5
Graphitite	99,7	0,3	—
Graphite	99,9	0,1	—

Le charbon carboniférien du Valais désigné par le nom d'anthracite présente, malgré des variations considérables dans sa composition, un caractère général nettement déterminé; la composition moyenne typique du charbon brut est à peu près la suivante:

$$C = 61\,\%; \quad H = 1\,\%; \quad O + N = 3\,\%;$$
$$H^2O = 5\,\%; \text{ cendres} = 30\,\%.$$

Le combustible exempt de cendres et asséché montre dans sa composition élémentaire les valeurs-limites suivantes:

$$C = 92 - 96\,\%; \; H = 1{,}5 - 1\,\%; \; O + N = 6{,}5 - 3\,\%.$$

Le tableau d'à côté met la composition de l'anthracite du Valais en regard avec celle d'autres charbons analogues, et indique aussi les valeurs de $\frac{O+N}{H}$ et de H disponible pour 1000 parties de carbone.

Il résulte de ce tableau que les spécimens des Alpes (Valais et Isère), de l'Oural, du Canada et de Piesberg se distinguent de l'anthracite proprement dit en ce que leur teneur en C. dépasse constamment 93 %, tandis que, la teneur en H s'abaissant considérablement au-dessous de 2 %, l'oxygène s'accroît par rapport à l'hydrogène, puisque nous

	C %	H %	O+N %	O+N / H	H disponible p. 1000 C.
1. Coal Class A (Classification internationale 1910)	90 95	4,5–2	5,5–3	1,2–1,5	42–17
2. Anthracite de Charleroy (Belgique (moyenne de 8 filons) .	90,5	4,2	5,3	1,25	34
3. Moyenne de 20 analyses d'anthracite de provenances diverses	93,5	2,8	3,7	1,3	23
4. Piesberg près d'Osnabrück .	95,3	1,6	3,1	1,9	12
	94,0	1,6	4,4	2,8	11
5. Sudbury (Canada)	96,7	0,5	2,8	5,6	2
6. Bajewka (Oural)	97,5	0,6	1,9	3,2	4
7. La Mure (Isère)	96,7	1,6	1,7	1,1	14
8. St. Mury (Isère)	96,8	0,8	2,4	3	5
Valais: zone externe	96,2	1,3	2,5	1,9	10
zone interne	95,5	1,2	3,3	2,7	7
Moyenne.	95,7	1,2	3,1	2,5	8

trouvons en moyenne O : H = 3 : 1 au lieu de O : H = 1,5 : 1. Conséquemment, pour les anthracites normaux la chaleur de combustion atteint jusqu'à 9000 cal. kg., tandis que les anthracites alpins et leurs analogues n'ascendent qu'à 7700 cal. kg. Il faut donc nettement distinguer les anthracites du Valais des anthracites normaux, et les attribuer au type de charbon, inférieur au point de vue technique, qui se trouve entre les anthracites proprement dits et la schungite. On a appelé ce charbon l'anthraxolite.

Les éléments du charbon producteurs de chaleur sont le carbone et l'hydrogène disponible. On calcule d'après l'analyse du charbon pur le rapport existant entre 1000 parties de carbone et les parties correspondantes de H et de O. En formant H^2O, H et O se combinent dans la proportion de 1 : 8. O disparaît complètement, et ce qui reste de H, c'est le H disponible [Ex. 1000 C, 56 O, 12 H · $\frac{56}{8}$ = 7 · 12 – 7 = 5 H disponible]. Par conséquent la production de chaleur d'un charbon est en raison directe de sa teneur en carbone et en hydrogène et en raison inverse de sa teneur en oxygène. Les anthraxolites du Valais présentent toutes une forte teneur en O par rapport à H; la valeur de l'H disponible est ainsi minime, environ 8 pour 1000 C. en moyenne, tandis que dans

les anthracites normaux elle atteint jusqu'à 35. Le pour cent des substances volatiles peut atteindre dans les anthracites du Valais 12 %, le rapport de H à O étant de 1 à 6. Les substances volatiles sont donc très riches en O et par conséquent elle ne se composent pas de gaz combustibles, mais de produits très oxygénés, de sorte que la chaleur de combustion décroît, malgré l'augmentation de la teneur procentuelle en substances volatiles.

Grâce aux nombreuses analyses d'anthracites du Valais faites sous la direction de Mr. le Dr. P. Schläpfer au laboratoire d'essais de combustible de l'Ecole polytechnique, on peut admettre comme valeurs moyennes:

1. Zone externe H : O = 1 : 1,9. H disponible = 9,5.
   Chaleur de combustion 7800 cal. kg.
2. Zone interne H : O = 1 : 3,2. H disponible = 6,7.
   Chaleur de combustion 7666 cal. kg.

Moyenne H : O = 1 : 2,8. H disponible = 7,8.
Chaleur de combustion 7700 cal. kg.

Ainsi la différence géologique entre les deux zones se reflète aussi dans la nature des matières combustibles de leurs anthracites. Et la supériorité depuis longtemps attribuée par certains praticiens aux combustibles de la zone externe sur ceux de la zone interne paraît ainsi se trouver confirmée.

D'après la nature du combustible, que nous venons de préciser, l'anthracite du Valais est un charbon qui donne très peu de produits gazeux à cause de sa teneur très basse en hydrogène disponible. Il s'enflamme difficilement, brûle avec une flamme courte, et, employé seul, il s'éteint facilement. En employant l'anthraxolite du Valais comme combustible, il faut tenir compte de ces faits; pour utiliser le carbone emmagasiné dans ce charbon, il est tout indiqué de mélanger l'anthracite avec un combustible meilleur.

La valeur industrielle du tout-venant de la mine est déterminée, non seulement par la nature du charbon pur (quantités relatives de C, H, O + N et S contenues dans le charbon exempt de cendres et asséché), mais aussi par sa teneur en éléments étrangers stériles: eau et cendres. Par conséquent, le charbon commercial, le tout-venant, est caractérisé par l'indication de la teneur en eau et en cendres du produit brut, et par celle du pouvoir calorifique, déterminé au moyen de la bombe calorimétrique. Les valeurs suivantes sont les moyennes établies sur une centaine d'analyses.

	Eau %	Cendres %	Pouvoir calorifique cal. Kg.
Zone externe (Mines Collonges, Dorénaz, Ferden) . .	5	33	4600
Zone interne (Mines Isérables, Nendaz, Chandoline, Bramois, Grône, Tourtemagne) . . .	7	36	4300
Valais	**6**	**35**	**4400**

Les échantillons de tout-venant donnent donc aussi à l'analyse des résultats un peu plus favorables pour l'anthracite de la zone externe que pour celle de la zone interne.

La teneur en eau qui, dans des charbons d'âge géologique plus jeune, dans certains lignites et dans les charbons feuilletés, diminue considérablement la valeur du combustible, est relativement peu élevée dans l'anthracite valaisan; dans les charbons normaux, elle ne dépasse pas celle des houilles; ses valeurs extrêmes sont de 1 % et de 12 %, donnant une moyenne de 6 %.

La teneur en cendres des anthracites valaisans est en général élevée, ce qui réduit encore la valeur industrielle du combustible, qui, en lui-même, est déjà de qualité inférieure. Pour la teneur en cendres, nous trouvons, dans le tout-venant, 40 % et 15 % comme extrêmes, avec une moyenne de 35 %. La chaleur de combustion, calculée conformément à la nature du charbon pur, est de 7700 cal. kg.; mais pour le pouvoir calorifique du tout-venant, nous ne trouvons que 4400 cal. kg.; la teneur en cendres rabaisse ainsi le pouvoir calorifique du charbon de 3300 cal. kg. en moyenne. Voici, en nombres ronds, la relation entre la teneur en cendres et le pouvoir calorifique du tout-venant des mines d'anthracite en Valais:

Teneur en cendres, en %	3	10	15	25	30	35	40	50
Pouvoir calorifique, en cal. Kg. . . .	7500	6500	6000	5000	4800	4400	4000	3000

(Cf. Fig. 2 p. 61.)

Le poids spécifique d'un charbon brut est déterminé d'une part par la nature du charbon lui-même, d'autre

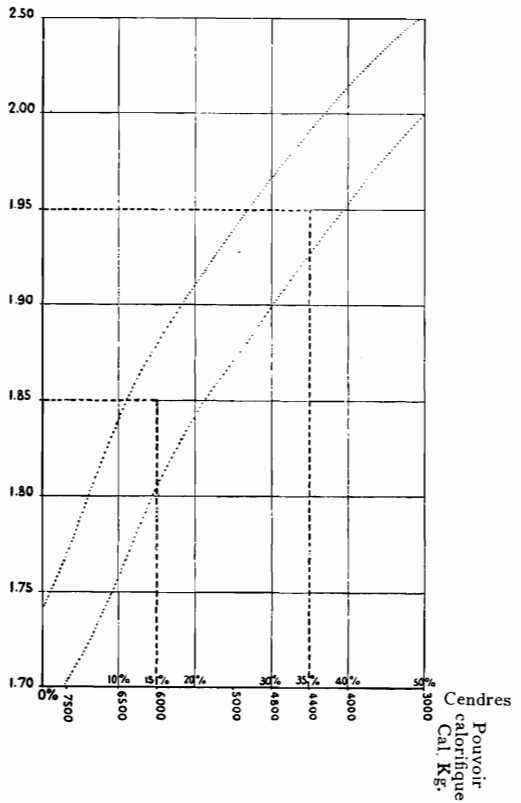
part par les éléments minéraux qui s'y mêlent: les cendres. Dans les charbons en général, nous constatons un accroissement parallèle de la teneur en carbone de 60 à 96 % et du poids spécifique du combustible pur de 1,2 à 1,7. Les houilles normales (houille flambante, houille grasse et houille maigre) accusent pour un accroissement en C. de 75 à 90 %, une augmentation du poids spécifique de 1,25 à 1,35. La présence dans le charbon des minéraux qui constituent les cendres, entraîne de son côté une nouvelle augmentation du poids spécifique. Lorsque, comme dans les anthracites valaisans, l'élément minéral prédominant est du quartz dont la densité est de 2,65, l'augmentation de densité que produit la teneur en cendres sur un charbon pur d'un poids spécifique de 1,7, est très considérable. Dans l'anthracite où la pyrite manque totalement ou presque, et dont le poids spécifique est déterminé en somme par les éléments quartzeux formant les cendres, il règne naturellement une certaine relation entre le poids spécifique et la teneur en cendres. L'analyse d'une centaine d'échantillons d'anthracites établit, pour un accroissement de la teneur en cendres de 5 à 50 % une augmentation progressive de la densité de 1,7 à 2.5, en même temps qu'une diminution du pouvoir calorifique de 7500 à 3000 cal. kg. La teneur en cendres de 60 échantillons oscille entre 15 et 35 % avec des densités correspondantes de 1,85 à 1,95. (Cf. Fig. 2, p. 61.)

Les cendres de nos anthracites sont pulvérulentes, rarement scoriacées; dans de petits foyers, le résidu du charbon est sableux; ce n'est qu'à de hautes températures, dans les foyers des chaudières à vapeur et des générateurs que les cendres se fondent en une masse vitreuse. La température de fusion des cendres des anthracites valaisans est entre 1400 et 1650° C. Les cendres sont presque toujours très riches en SiO^2 (60 à 90 %), et pauvres en calcaire; elle ne présente donc que peu d'aptitude à la scorification. — Une des tâches essentielles d'une exploitation houillère, c'est la préparation du charbon. Au sortir de la mine, le charbon se trouve mêlangé à des éléments impurs, roches stériles et minéraux constituant les cendres. Par la préparation du charbon au moyen de dispositifs mécaniques spéciaux, la teneur en cendres peut être souvent considérablement réduite; ainsi, dans les anthracites américains, on obtient une réduction de la teneur en cendres de 22,5 à 9,5 %. Par triage à la main, on doit enlever soigneusement les morceaux stériles mêlés à l'anthra-

cite au sortir de la mine. Quant à la substance minérale qui constitue les cendres, elle est si intimément liée à l'anthracite du Valais qu'il semble difficile et en tous cas peu rémunérateur de l'éliminer par criblage et lavage.

Fig. 2.

Teneur en cendres, Densité et Pouvoir calorifique des Anthracites du Valais.



2. Les propriétés physiques de l'anthracite valaisan, envisagées au point de vue pétrographique, sont déterminées, comme ses propriétés chimiques, par la nature du charbon pur et par la façon dont il se combine avec les éléments minéraux donnant les cendres. Les substances minérales qui

se sont mélangées aux substances végétales à l'orgine du dépôt ou qui se sont plus tard infiltrées dans le charbon constituent les éléments des cendres. Ce qui reste après la combustion complète du combustible porte le terme technique de „cendres". Ce résidu solide, au point de vue de sa composition chimique, ne correspond pas exactement aux éléments minéraux, car leurs *éléments* volatils (H^2O, CO^2, S) manquent dans les cendres. Les éléments constitutifs du charbon et des cendres de l'anthracite valaisan montrent par toutes leurs propriétés les manifestations du dynamométamorphisme alpin. Non seulement le charbon lui-même a atteint dans la série de carbonisation le degré de l'anthraxolite, mais il a subi encore d'autres transformations, et d'autre part les éléments minéraux constituant les cendres, sont, dans la forme où ils apparaissent actuellement dans le charbon, le produit d'une infiltration secondaire, phénomène connexe au dynamométamorphisme qui détermine le „facies alpin" des roches.

Les minéraux constatés dans l'anthracite valaisan par l'examen microscopique et l'analyse chimique sont principalement du quartz, de la chlorite (pennine) et de la muscovite, puis de la pyrite, rarement de la calcite et du gypse. Dans le tableau (page 63), nous donnons les résultats de l'examen chimique et minéralogique des éléments minéraux de 20 échantillons d'anthracite, et la Pl. III. représente les coupes minces de 6 de ces échantillons. Comme on le voit, le quartz est de beaucoup l'élément le plus fréquent, toujours présent, de l'anthracite; il forme bien en moyenne le 15 à 20 % du charbon entier. L'anthracite stratoïde compact de la mine de Collonges, la variété la plus pure, est la seule qui n'ait révélé que 0,5 % de quartz. A l'oeil nu, le quartz est d'un blanc laiteux, et traverse l'anthracite en veines fines. Avec le degré de transformation de l'anthracite s'accroît aussi la quantité de quartz; et, aux places de déformation mécanique maximum, l'anthracite est pénétré dans toutes les directions par des couches de quartz blanc, épaisses de plusieurs centimètres, présentant des aplatissements et des renflements alternatifs. L'examen optique du quartz montre qu'il possède des propriétés tout à fait anormales. Dans les veines traversant l'anthracite bréchiforme, tout le quartz, qui semble homogène à l'œil nu, est constitué par des fibres cristallisées biréfringentes, dont l'allongement est perpendiculaire aux salbandes des fentes qu'elles remplissent. (Pl. III. Fig. 1 et 4.) La

No.	Lieu de Provenance		Charbon			Cendres										Pl. III. Fig. No.
						Composition chimique					Eléments minéraux					
			Densité	Cendres %	Quartz %	SiO^2 %	Al^2O^3 %	Fe^2O^3 %	CaO %	MgO %	FeS^2 Pyrite %	$CaCO^3$ Calcite %	SiO^2 Quartz %	$2MgO\ Al^2O^3\ 3SiO^2$ Pennine %	$Al^2O^3\ 2SiO^2$ Muscovite %	
1	Collonges		1,77	9,0	0,5	16,85	7,05	73,82	—	2,28	82	—	6	12	—	—
2	Dorénaz		1,95	33,95	20,4	69,75	5,92	11,07	9,14	4,12	15	15	60	10	—	2
3	Mauvais Four	C. Max	1,88	17,75	9.4	72,74	15,10	12,16	—	—	17	—	53	—	30	—
4	Mauvais Four	C. Mittel	1,95	6,88	3,2	70,59	16,89	10,25	2,27	—	14	4	47	—	35	—
5	Mauvais Four	C. Louise	1,94	20,44	7,8	62,97	16,58	18,58	1,87	—	24	3	38	—	35	—
6	Aproz		2,00	39,70	12,7	58,83	21,52	15,93	—	3,72	23	—	32	12	33	—
7	Chandoline	C. Transvaal	1,93	21,30	12,6	77,12	13,55	7,89	1,44	—	11	2	59	—	28	3
8	Chandoline	C. Berne	1,91	19,55	13,1	80,53	9,52	8,63	1,32	—	11	2	67	—	20	—
9	Bramois	C. A 1	1,87	23,40	12,6	75,70	16,71	5,31	2,28	—	7	4	54	—	35	—
10	Bramois	C. A 2	1,93	25,30	18,2	86,29	9,68	4,03	—	—	6	—	72	—	22	—
11	Bramois	C. B.	2,02	49,15	13,2	84,52	11,13	4,35	—	—	6	—	69	—	25	4
12	Grône, Filons normaux	C. Calpini Gal. Pernollet	2,16	35,25	30,7	93,05	3,43	3.52	-	—	6	—	87	—	7	1
13	Grône, Filons normaux	C. Pernollet Gal. Pernollet	1,94	30,18	17,2	77,74	12,75	9,51	—	-	15	—	57	—	28	—
14	Grône, Filons normaux	C. Calpini Tr. b. Pernollet	2,18	54,60	27,3	66,27	13,15	13,58	—	7,00	21	—	50	20	9	—
15	Grône, Filons normaux	C. Ettrey Mine Ettrey	1,86	26,10	15,7	76,02	11,49	10,30	—	2,19	14	—	60	7	19	—
16	Grône, Filons de chevauchement	No. I Gal. de base	2,00	55,60	40,6	82,75	9,32	5,41	—	2.52	7	—	73	9	11	5
17	Grône, Filons de chevauchement	No. II Gal. Pernollet	1,90	29,15	15,5	69,98	13 28	12,30	—	4,44	18	—	53	11	18	—
18	Grône, Filons de chevauchement	No. III Gal. Calpini	1,93	18,20	7,8	62,52	17,39	14,78	—	5,31	23	—	43	14	20	6
19	Tourtemagne	Tout-venant	1,98	40,18	32,1	89,16	4,04	5,55	1,25	—	9	2	80	—	9	—
20	Tourtemagne	Tout-venant	2,10	54,85	36,8	79,07	9,16	8,83	—	2,94	13	—	67	9	11	—

réfringence et la biréfringence sont identiques à celles du quartz normal. La zone d'allongement des fibres est positive ou négative, et l'extinction oblique maximum est de 35° environ. Le plan des axes optiques est transversal à l'allongement des fibres, l'angle des axes optiques est petit et la bissextrice aigue positive. Les fibres juxtaposées montrent des extinctions en sens opposé comme les individus dans les macles polysynthétiques. La silice est anhydre, les propriétés optiques ne sont pas changées après une calcination. Le quartz de nos anthracites est donc une variété spéciale des produits quartzeux fibreux désignés sous les noms de „Quartzine, Lutécite et Calcédonite". Nous considérons cette structure fibreuse comme une indication pour la formation de ces produits par concrétion par voie humide. Notre anthracite est un charbon silicifié. — Aux fibres de quartz se mêlent souvent des feuillets et des écailles de muscovite incolore et de pennine gris clair (Pl. III. Fig. 6), ce qui est indiqué par la teneur des cendres en MgO et en $Al^2 O^3$. La calcite ne se laisse que rarement constater, quoique certaines variétés donnent l'effervescence avec l'acide chlorhydrique. Dans les anthracites de Collonges, de Dorénaz et de Mauvais Four, par ex., on a constaté 1 à 2 % de CO^2, et, conséquemment, les cendres contiennent aussi dans certains cas quelques % de CaO. (Voir tabl. P. 63.) La pyrite est présente dans les grès quartzitiques qui accompagnent l'anthracite d'Aproz; elle apparaît fréquemment en couches dans les schistes charbonneux noirs, sous forme de grains ou de cubes d'1 à 2 cm. de côté, qui sont tapissés d'une mince couche de quartz fibreux. Dans l'anthracite, la pyrite apparaît, de même que le quartz, comme un produit d'infiltration secondaire; elle remplace le quartz comme remplissage de fentes (Pl. III. Fig. 2).

Les anthracites présentent, au point de vue de leur aspect, trois variétés principales que nous désignons comme suit: 1. Variété stratoïde compacte; 2. Variété grenue, bréchiforme; 3. Variété pulvérulente graphitique. — L'anthracite stratoïde, en formation normale, constitue, comme la houille, des couches régulières continues, intercalées dans des argiles feuilletés sombres et des grès à grain fin. La variété stratoïde compacte, qui est la plus pure, se rencontre rarement dans les mines du Valais; elle est par ex. spéciale à certaines parties de la mine Collonges. La teneur en cendres est d'environ 10 %. L'anthracite est compact, massif,

homogène à cassure conchoïdale, d'un éclat résineux, métalloïde; de couleur noire, il est peu noircissant. Vu en coupe mince, l'anthracite se révèle tout à fait opaque; en lumière réfléchie, il a un reflet très prononcé, gris d'acier, blanchâtre. Le degré de dureté du charbon s'élève à 3, son poids spécifique est de 1,7; c'est donc le charbon le plus dur et le plus dense. — Dans la plupart des cas, les couches de charbon n'ont pas conservé leur forme originelle; elles sont laminées, écrasées, étirées, plissées avec les sédiments qui les enferment, et recoupées par des plans de clivage. Ces déploiements de forces géodynamiques entraînent de nouvelles transformations dans la structure et la nature de la variété stratoïde compacte de l'anthracite alpin. Nous trouvons tous les passages à la variété grenue, bréchiforme, puis à la variété pulvérulente graphitique.

La Variété grenue bréchiforme prend naissance par la trituration mécanique de la variété compacte; elle est formée par une agglomération de grains anguleux d'anthracite compact, de 1 à 10 mm. de diamètre environ. Dans les fines fentes qui séparent les grains s'infiltrent le quartz et la pyrite. Le quartz est toujours fibreux et les fibres sont implantées normalement aux salbandes des fentes (cf. Pl. III. Fig. 1 et 2). Le degré de trituration et celui de l'infiltration du quartz marchent de pair. Les couches de la mine Mauvais Four, par ex., présentent le développement typique de la variété bréchiforme. La teneur moyenne en cendres de l'anthracite grenu bréchiforme est d'environ 20 %. Dans divers charbons de la variété bréchiforme, on constate, à côté des gros grains de l'anthracite normal à reflets, un charbon d'un autre genre qui ne réfléchit pas la lumière et qui est constitué par une pâte à grains extrêmement fins. L'anthracite montre donc une texture porphyrique; les grains d'anthracite normal qui réfléchissent la lumière sont, comme les phénocristaux d'un porphyre, disséminés dans une pâte de charbon finement grenue. Le quartz fibreux se rassemble autour des gros grains d'anthracite qu'il tapisse d'un fin revêtement (cf. Pl. III. Fig. 3), ou bien il s'accumule sur deux des faces opposées des grains, comme le montrent les figures 4 et 5 de la Pl. III. Plus la pâte d'anthracite à grains ténus augmente aux dépens des gros grains de l'anthracite normal, plus s'affirme le type de la variété pulvérulente, noircissante, graphitique. Dans cet anthracite pulvérulent apparaissent, irrégulièrement réparties, les infiltrations minérales

du quartz fibreux, accompagné de fibres de chlorite et de séricite (Pl. III. Fig. 3—6). La teneur en cendres du charbon est de 30 % et davantage. L'anthracite normal est transformé par dynamométamorphisme en un charbon graphitique, mais la transformation n'est pas poussée jusqu'à la formation du graphite proprement dit. Cette substance graphitique est en effet du carbone amorphe, qui se dissout difficilement dans un mélange d'acide nitrique fumant et de chlorate de potassium sans laisser de résidu, tandis que le graphite proprement dit, soumis à cette réaction, précipite en se dissolvant les cristaux jaunâtres de l'oxyde graphitique. L'anthracite le plus fréquent dans les mines du Valais, c'est la forme porphyroïde, intermédiaire entre la variété bréchiforme et la variété pulvérulente. C'est aux endroits où les couches de charbon ont été modifiées le plus intensément par la pression tectonique et où le charbon a été disloqué, amassé en forme de „poches" ou déposé dans des fentes, que la transformation de l'anthracite compact en anthracite pulvérulent est la plus complète.

La manifestation la plus évidente du „facies alpin" de l'anthracite du Valais, c'est sans doute la transformation qu'a subie partout la forme des couches. Les déformations tectoniques entraînent toujours un déplacement, une migration de la substance, montrant combien l'aptitude à la déformation varie dans les diverses roches. L'anthracite témoigne d'une étonnante faculté de déplacement, due à la plus grande plasticité de sa matière. Les cassures, les décrochements, les failles, les plissements, les chevauchements des couches sont toujours suivis par un écrasement et un déplacement de l'anthracite. L'anthracite devient bréchoïde, pulvérulent et il se transporte et s'amasse aux lieux de moindre résistance. Les couches de charbon sont par places laminées, étirées, et ailleurs il se forme dans la couche des renflements sur des vingtaines de mètres de longueur et plusieurs mètres d'épaisseur. Ce sont les „poches" que l'on connaît depuis longtemps dans les mines des deux zones du Valais. Il y a des cas, par ex. dans les filons de la mine Méreuna sur Dorénaz, où la formation des poches peut être expliquée par l'écoulement du charbon vers les charnières synclinales et anticlinales de plis fortement redressés et serrés. Les poches dans les couches peu inclinées des mines sur le versant sud du Rhône sont, dans leur moindre dimension, de simples renflements de charbon, par refoulement, qui sont entourés des schistes re-

broussés en contour parallèle. Mais souvent on voit l'anthracite sortir de la poche elle-même et pénétrer dans les schistes en coupant la schistosité, formant des apophyses comme des filons éruptifs. Il se peut ainsi que le toit d'une couche inférieure se relie au mur d'une couche supérieure par un filon de charbon. L'anthracite peut émigrer complètement des couches pour pénétrer dans les fentes de failles, qu'il remplit d'un charbon finement grenu, graphitique, fort bien exploitable. Un fait tout spécial se présente dans la mine principale de Grône. Le carbonifère renfermant quatre couches d'anthracite superposées forme un système de plis couchés rejetés vers le nord. Les flancs médians de ces plis sont étirés et transformés en plans de chevauchement qui coupent toute la série de couches avec leurs flötz. Partout où l'anthracite des flötz est coupé par ces plans de glissement, il y pénètre et remplit les fentes de chevauchement, reliant un flötz à l'autre et formant ainsi les filons de chevauchement.

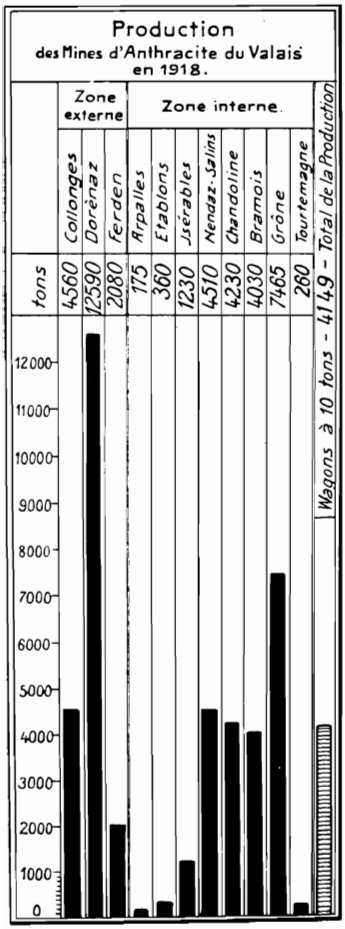
Tous ces déplacements de l'anthracite, ces écrasements et entassements de substances charbonneuses sont accompagnés par une circulation des substances minérales. La silice qui imprègne l'anthracite comme quartz fibreux se concentre sous forme de veines et de filons dont la blancheur immaculée tranche sur le fond noir de l'anthracite. Le quartz d'un blanc laiteux est toujours compact, jamais vacuolaire, et jamais tapissé de cristaux de quartz. Nous constatons que toujours, avec l'écrasement progressif de l'anthracite, ces veines et filonnets de quartz fibreux augmentent. Lorsque, entre deux poches, la couche d'anthracite est complètement étirée, c'est une lame de quartz qui marque sa continuation, conduisant le mineur d'une poche à l'autre.

3. L'Exploitation de l'Anthracite.

Au sujet des exploitations d'anthracite dans les temps passés, nous ne possédons que des données incomplètes. La plus ancienne mine du Valais est celle de Chandoline, où dès 1790 l'anthracite fut exploité pour les fours à chaux. D'après un rapport du 15 juillet 1859 adressé à l'Administration des mines du Valais, 25 concessions de mines avaient été accordées vers le milieu du XIXe siècle, et l'anthracite était exploité à Salvan, Collonges, et Dorénaz ainsi qu'aux Etablons, à Haute Nendaz, Aproz, Chandoline, Bramois, Grône

et Tourtemagne. De 1913—1917, on accorda encore 13—17 concessions. Le nombre des mineurs entre 1900 et 1910 s'éleva à environ 40 personnes. Les mines productrices étaient en été 1917 les suivantes: Grône (20 t par jour), Chandoline (10 t) et Haute Nendaz (15 t), Isérables (5 t); en août 1917, la production atteignit environ 2500 t; la production totale pour 1917 peut être évaluée à 8—10 mille tonnes. L'extension des anciens travaux peut se calculer approximativement d'après les relevés récemment effectués. Nous trouvons une longueur totale de galeries d'environ 8000 m.; en nous basant sur les assez rares données statistiques conservées, nous arrivons, pour la production totale de plus d'un siècle jusqu'en 1917, à un montant de 80,000 t. en chiffres ronds, qui concorde avec la longueur des galeries.

Fig. 3.



Pendant les années 1917 et 1918, l'exploitation de l'anthracite valaisan a attiré l'attention officielle du Conseil d'Etat du Valais et tout spécialement du Département fédéral de l'Economie publique. L'examen technique des gisements fut confié au „Bureau des Mines“, qui fut créé comme une division de l'Economie publique de guerre. En décembre 1917 s'est formée l'Association des Producteurs de charbon du Valais“ (Apaval), qui a pour but de favoriser le développement des mines de charbon du Valais et qui sert d'intermédiaire entre les producteurs et les autorités fédérales et cantonales. Nous allons exposer en détail le développement qu'a pris depuis 1917 l'exploitation de l'anthracite du Valais. Nous donnons le graphique de la production des différentes mines en 1918 (Fig. 3),

d'où l'on peut voir que la production de cette seule année équivant à la moitié de la production totale des cent années précédentes.

4. Description géologique spéciale des gisements et des mines d'anthracite du Valais.

I° Zone externe.

A. Du Col de Balme jusqu'à la Dent de Morcles (Massif du Mont Blanc).

1. La zone synclinale Trient-Vernayaz.

Dans le synclinal fortement comprimé entre le massif du Mont Blanc au SE. et celui des Aiguilles rouges au NW, le Carbonifère apparaît, étroitement lié au mésozoïque, à Argentière, au NW. de Chamonix, sur territoire français. A la frontière suisse, à la Tête noire, la zone carbonifère atteint une largeur de plus de 3 km., et supporte le synclinal de la Croix de fer, constitué par des calcaires jurassiques. Entre le massif des Aiguilles rouges et celui de l'Arpille, le carbonifère, large d'un à deux km., se dirige par Finhaut et Salvan vers Vernayaz dans la vallée du Rhône. Nous y constatons des complications; entre les couches du carbonifère apparaissent des noyaux cristallins. Dans le synclinal de Salvan, les deux flancs sont formés par des conglomérats polygéniques et métamorphiques (poudingue de Valorcine), tandis que le centre est constitué par des ardoises et des grès micacés. Les rares gisements d'anthracite sont liés à des ardoises et à des grès.

Trient, Tête noire et *Finhaut.* Dans le Carbonifère qui, au pied nord des calcaires de la Croix de fer, au-dessus de Dzîlio, sur le versant sud du Trient, repose sur des schistes cristallins, on a depuis fort longtemps connu la présence d'anthracite *aux Revenettes*, à une altitude de 1540—1570 m. Des couches continues d'anthracite n'ont pu y être décelées. On a exploité quelques blocs d'anthracite éboulés. L'anthracite est en gros feuillets d'un noir brillant. Il contient de 29 à 36 % de cendres, et pour le combustible exempt de cendres et asséché, nous avons les valeurs $H : O + N = 1 : 4,8$, ce qui correspond à une chaleur de combustion de 7452 Cal. Kg. — Près de Tête noire, au confluent du Trient et de l'Eau noire, des traces d'anthracite ont été mises au jour dans des

schistes fortement disloqués (Les Golettes, Troulero). Près du tunnel du Châtelard (au km. 17,23 de la ligne du Martigny-Châtelard), un affleurement d'anthracite a été constaté, et deux galeries y ont mis au jour, en 1918/19, une couche d'anthracite de 20 à 60 cm. d'épaisseur. Au bord de la route de Finhaut à Trétien, on a découvert, à 1400 m. d'altitude, l'affleurement d'un filon écrasé et peu épais, orienté vers le N. 10° E.

Salvan-Vernayaz. Dans la contrée de Salvan, les poudingues de Valorcine forment la base du synclinal carbonifère vers le SE., et au-dessus d'eux s'étendent d'épaisses couches d'ardoises. Des filons d'anthracite ont été découverts dans le mur de ces ardoises, sur le flanc de la pente abrupte, droit au nord de la route de Vernayaz à Salvan. L'anthracite se trouve dans des schistes intercalés dans les poudingues plongeant vers le SE. Il y forme des lentilles atteignant une épaisseur d'un mètre et fortement mêlées de schistes; on les a exploitées par 4 galeries, allant jusqu'à 90 m. de longueur et situées à 530, 700, 725 et 780 m. d'altitude. Les échantillons de trois de ces galeries ont donné 28—35 % de cendres, et un pouvoir calorifique de 4535 à 5162 Cal. Kg. Le combustible pur donne H : O + N = 1 : 1,6, rapport qui correspond à une chaleur de combustion de 7889 Cal. Kg. — Au nord de la large zone d'ardoises de Salvan, au-dessus des poudingues nord du synclinal, qui plongent au SE., on a trouvé des traces d'anthracite au-dessous de Marcot et près de Savenay. — En 1917/18, on a fait des tentatives infructueuses en ouvrant deux galeries près de la route Vernayaz-Salvan, à quelques mètres au-dessus du fond de la vallée du Rhône.

2) Le synclinal Collonges-Dorénaz.

Près de Vernayaz, sur le flanc gauche de la vallée transversale du Rhône, orientée du SSE. au NNW., les couches carbonifères du synclinal de Salvan, larges de 1½ km., courent perpendiculairement à la direction de la vallée; sur la rive droite de la vallée du Rhône, elles prennent un développement considérable et y forment le synclinal de „Collonges-Dorénaz". La base du synclinal, qui repose sur des schistes cristallins, se trouve au-dessous du niveau de la plaine du Rhône, mais en surgissant près de Dorénaz, elle n'a qu'une largeur de 100 m. environ. De Dorénaz, le flanc nord du syn-

clinal s'élève et, après un parcours de 4 km., atteint le Plateau de Plex à 1200 m. d'altitude. Deux km. plus loin, les couches se rapprochent toujours plus de l'horizontale, et atteignent l'Alpe d'Arbignon au pied des parois calcaires de la Dent de Morcles, à 1700 m. d'altitude, c'est-à-dire à 1300 m. au-dessus du lit du Rhône. Dans le flanc sud du synclinal au-dessus de Dorénaz, les couches sont beaucoup plus inclinées que dans le flanc nord, presque verticales. Elles montent jusqu'à la crête vers l'Alpe de Fully à 2400 m. La largeur de l'éventail carbonifère entre Arbignon et la Tête du Portail atteint 5 km. Les couches carbonifères traversent la cuvette de l'Alpe de Fully et plongent vers le NE. sous les masses calcaires du Grand Chavalard. Ce qui caractérise la position tectonique des couches carbonifères du synclinal de Collonges-Dorénaz, c'est qu'en général elles sont moins inclinées que les schistes cristallins de leur soubassement. D'autre part, au-dessus de ces roches, cristallines ou carbonifères, s'étendent les couches mésozoïques. Malgré le puissant plissement de l'époque tertiaire qui a affecté tout le massif alpin, celles-ci ont conservé ici, en général, leur discordance avec le carbonifère et le cristallin de leur base, tandis que dans le synclinal de Chamonix-Vernayaz, beaucoup plus comprimé, elles ont pris, comme les couches carbonifères, un redressement parallèle à celui des schistes cristallins. Stratigraphiquement, les couches d'anthracite appartiennent à la partie inférieure de notre Carbonifère et sont liées à des schistes argileux et à des grès; celles de la *Mine Collonges* sont situées dans le flanc nord, non loin du contact avec les schistes cristallins; celles de la *Mine Dorénaz*. à la hauteur de Méreuna, sont situées dans la région du flanc sud dans un synclinal secondaire, et doivent appartenir à un niveau stratigraphique un peu plus élevé que celles de Collonges.

Plex sur Collonges (Mine Collonges). Les couches carbonifères qui contiennent les filons appartenant au flanc nord du synclinal de „Collonges-Dorénaz“ sont à découvert à une altitude de 1000 à 1200 m. au-dessus de Collonges, au-dessous du Plateau de Plex. La zone à filons est limitée en bas par des conglomérats sous-jacents, reposant sur les gneiss, et en haut par les ardoises qui commencent au point 1215 et forment le sous-sol du plateau de La Maraiche-Plex. L'ensemble de la zone atteint une épaisseur d'environ 200 m.; au-dessus des poudingues sous-jacents de 30 m. d'épaisseur s'étend un système de grès et de conglomérats à grains fins,

qui se dirige du NNE. au SSW. et plonge de 60 à 80° vers l'ESE.; ce niveau comprend plusieurs zones de schistes, épais de quelques mètres seulement, auxquels les filons anthracitifères sont liés. Des affleurements de couches anthracitifères se trouvent à la base des ardoises, au sud et au-dessous du point 1215,2, puis à l'entrée des galeries V, IV, III, I et 0, ce qui prouve qu'il y a ici trois filons superposés. Au-dessus de la mine, tout le Plateau de Plex est couvert d'épais dépôts de moraines et d'éboulis de pentes. Des affleurements se trouvent seulement à 1 km. au nord de la mine, près du Grand Chable, et continuent de là par les Douay, et Forêts des Avouillons jusqu'au Haut d'Arbignon. Les schistes de cette zone sont particulièrement remarquables à cause de leur richesse en restes de plantes. Les couches carbonifères sont ici moins inclinées que les gneiss du mur, et visiblement discordantes avec eux; recouvertes de Trias, elles forment la base des calcaires jurassiques de Bella Créta. Des filons d'anthracite ont été reconnus près du Grand Chable, puis au-dessous de la Fontaine à Moïse, dans la Forêt des Avouillons et au-dessous des chalets du Haut d'Arbignon.

La mine de Collonges, à une altitude de 984 à 1160 m., est une des plus anciennes exploitations d'anthracite du Valais. Les périodes d'exploitation embrassent les années 1825 à 1860 et 1879 à 1894. Dans les années 1854 à 1860, on a extrait de 50 à 60,000 quintaux d'anthracite, et la période antérieure doit avoir livré à peu près la même quantité; pour la dernière période, à partir de 1879, la production peut être estimée à 25,000 T. environ, ce qui porterait la production totale à 30,000 T. L'exploitation de la mine a été maintenue jusqu'en 1894, et le journal enregistrant les abattages a été tenu à jour jusqu'à ce moment-là. L'anthracite de la Mine Collonges jouissait jadis d'une excellente réputation à cause de sa teneur en cendres relativement faible, environ de 14%.

D'après les anciens plans conservés, les affleurements du flötz qui apparaissent très inclinés le long de la pente escarpée, ont été suivis en direction, vers le N-E, au moyen de 5 galeries, superposées sur une distance verticale de 136 m et atteignant une longueur totale de 1700 m. Les particularités de ce gisement se manifestent avec le plus d'évidence dans la galerie IV. Sur une distance de 310 m, on y a trouvé du charbon successivement, à partir de l'ouverture, entre 50 et 75 m, 90 et 110 m, 150 et 180 m, 220 et 240 m, 290 et 310 m; c'est-à-dire que le filon s'est réduit à

des lentilles isolées, de sorte qu'il est exploitable sur le tiers de sa longueur. Entre les poches, le charbon est presque complètement écrasé; cependant, dans la règle, le filon se laisse suivre avec sûreté d'une poche à l'autre le long de traces de charbon écrasé, accompagnées d'infiltrations de quartz („conducteurs"). Dans les poches, la houille atteignait une épaisseur variant de 2 à 8 m au maximum. Dans les lentilles on a construit des tailles ascendantes et relié entre elles les galeries superposées. De la sorte, dans la troisième poche, la „grande lentille", on est arrivé à exploiter l'anthracite sur une hauteur verticale de 100 m environ. Dans le toit des galeries principales I—V, à environ 80 m au sud de celles-ci, on a exploité temporairement un plus petit filon dans la galerie VI.

Au printemps 1917, l'exploitation de la Mine Collonges a été rouverte. Les anciennes galeries ont été en grande partie déblayées et on a extrait quelque peu de charbon aux anciens points d'abattage. Les principaux travaux nouvellement entrepris se trouvent dans la partie supérieure de la mine entre 1100 et 1160 m. Dans les galeries I et I^{bis}, on a suivi deux filons sur 120 et sur 50 m de longueur. Dans la galerie I, entre 60 et 70 m à partir de l'embouchure, on avait atteint une puissante lentille. Les mêmes filons furent touchés par la nouvelle galerie O, longue de 110 m (1160 m). A 30 m de son embouchure, on atteignit une poche dans laquelle le charbon, épais de 4 m, présenta deux ramifications; l'une fut suivie vers l'W-S-W pendant 40 m, tandis que l'autre, qui descendait, fut exploitée jusqu'à sa rencontre avec la galerie I. — Dans l'ancienne galerie I, à 40 m de l'ouverture, on pratiqua un travers-banc qui fut poussé pendant 30 m vers l'E 12° N. A 6 m de la bifurcation, on rencontra un filon qui, formant une puissante lentille, fut suivi et exploité vers le N-E sur 30 m de longueur. A 30 m de la bifurcation, on poussa ce travers-banc vers le S-E et sur une distance de 130 m on traversa toute la série de couches jusqu'au-dessus de la galerie IV; après un parcours de 30 m, le travers-banc traversa la partie supérieure des travaux de la „grande lentille" et à partir de là une galerie de direction (B) suivit le filon pendant 20 m vers le S. W. et pendant 180 m vers le N-E. Dans la galerie du N-E, à 40 m de distance de sa jonction avec le travers-banc, le filon s'élargit pendant 20 m en une lentille qui fut exploitée en montant. — Entre l'embouchure des anciennes galeries II (1065 m) et I (1106 m), la pente de la montagne est coupée par un

profond ravin qui court parallèlement à la direction des couches et dans lequel des filons affleurent entre 1150 et 1170 m. C'est là, à 1156 m, qu'une nouvelle galerie de direction (M) fut ouverte et poussée sur 80 m de longueur vers le N-E. Elle atteignit, entre 65 et 75 m, la lentille rencontrée par la galerie B, à 40 m au-dessous de la surface du Plateau de Plex. La galerie la plus basse, portant le n° V, à 984,8 m, n'a de nouveau été déblayée qu'au début de 1919. D'après les anciens plans, elle avait, sur 320 m de parcours, rencontré les cinq poches de la galerie IV (1006,3 m). Son prolongement dans le filon vers le N-W a atteint à 350 m de l'embouchure une sixième poche, d'une épaisseur moyenne de 3 m.

D'après les anciens graphiques, l'anthracite de la galerie VI, la plus méridionale, appartient à un filon du toit, tandis que dans les galeries superposées V, IV, III, II et I, n'apparaîtrait qu'un seul et même filon continu. Cependant, d'après les nouvelles mensurations, la distance horizontale des galeries V à II est presque le double de celle indiquée sur l'ancien plan. Il en résulte que, l'angle de plongement des couches étant en moyenne de 70°, ou bien il y a deux ou trois filons différents dans les galeries superposées, ou bien on y a affaire à des fragments déplacés et plissés d'un seul filon.

La production de la Mine Collonges se montait en 1918 à 4560 t, correspondant à une longueur de 500 m de galeries nouvelles. De tout temps, la houille de Collonges a passé pour l'une des meilleures du Valais, à cause de sa très faible teneur en cendres. L'anthracite de Collonges est en général compact; il brille d'un vif éclat et ne déteint guère. Son poids spécifique moyen est de 1,76. Neuf échantillons de tout-venant prélevés de 1917 à janvier 1919 ont donné en moyenne une teneur en cendres de 27,7 % avec un pouvoir calorifique de 5236 cal. kg. Par contre, 6 échantillons du flötz ne contenaient en moyenne que 11,2 % de cendres. La houille de Collonges est riche en imprégnations de pyrite; la houille tout-venant contient en moyenne 3—4% de $Fe\,S_2$. — Pour le combustible exempt de cendres et asséché, nous trouvons pour Collonges les valeurs suivantes:

	C	H	O + N	H : O + N	Chaleur de Combustion
Collonges	95,5	1,3	3,2	1 : 2,5	7911

Plan de la Méreuna sur Alesses (Mine Dorénaz).

Depuis le fond de la vallée près de Dorénaz, en passant par Alesses (921 m), la Méreuna (1600 m), et la Tête de Luy taise (2372 m), jusqu'au lac de Fully (2116 m), nous trouvons le Carbonifère du synclinal de Collonges-Dorénaz. Dans la vallée, entre le pont sur le Rhône de Dorénaz et le Zenant, au N de Dorénaz, nous traversons la base fortement comprimée du synclinal de Collonges-Dorénaz. La partie centrale de ce synclinal est formée près d'Alesses par des ardoises et des grès, auxquels succèdent vers le sud, dans le flanc sud du synclinal des conglomérats à grains fins, des ardoises et des conglomérats à gros grains, qui plongent fortement vers le NW, et au-dessous d'eux, les schistes cristallins en position verticale. Vers le N, en descendant jusqu'au Zenant, on constate la suite des couches correspondantes du flanc nord, peu incliné, jusqu'aux schistes cristallins qui émergent du fond de la vallée. Sur les schistes cristallins de Menlaz près du Zenant, reposent des conglomérats et des schistes; au point de contact de ces couches, à 660 m d'altitude, sur l'emplacement d'une ancienne galerie, on a mis au jour, dans un couloir de 50 m de longueur, des schistes à charbon présentant des traces d'anthracite. C'est là le gisement de charbon le plus bas constaté dans le synclinal de Collonges-Dorénaz. — Sur la pente abrupte entre Alesses et la crête du Mt Bron à Luy taise, nous distinguons vers le sud une large zone de couches carbonifères qui, appartenant au jambage sud du synclinal, sont affectées de forts plis secondaires, puis vers le nord la vaste masse des conglomérats rouges des „Gorges", formant le noyau du pli. Le Carbonifère est anthracitifère de 1400 m jusqu'à la crête. — A partir de l'arête: Pic du Diable (2472 m), Tête de Luy taise (2372 m), Tête du Portail (2338 m), qui court du N-W au S-E, perpendiculairement à la direction des couches, le Carbonifère se prolonge vers le N-E à travers la cuvette du Lac de Fully. Le long de la crête, les couches fortement redressées forment une série de plis dirigés du SW au NE; au sud du Pic du Diable, un noyau synclinal contient des conglomérats rouges. Tout le Carbonifère de la région de la crête et du Lac de Fully est recouvert au sud, au nord et à l'est de Trias et de Jurassique, en position discordante. Au sud, cette couverture mésozoïque n'apparaît qu'à l'état de vestiges, au sud de la Tête du Portail et au bord sud de la cuvette de Fully

près de Sorniot. Au nord, c'est à la Tête de Cornieule que commence la base des sédiments mésozoïques qui forment le sommet de la Dent de Morcles. Vers l'est enfin, le Carbonifère plonge sous la masse des calcaires du Grand Chavalard, pour ne reparaître que 50 km plus au NE, avec les schistes cristallins du massif de l'Aar, dans le Lötschental.

Des filons d'anthracite peuvent être suivis depuis le Plateau de Méreuna sur le flanc SW et sur le flanc SE de la crête, et à travers toute la cuvette de Fully. Sur de grands espaces, le Carbonifère est recouvert de dépôts glaciaires et d'éboulis de pentes, en outre, sa surface a subi souvent de forts éboulements, de sorte qu'il est difficile d'y établir le rapport des affleurements. Il semble pourtant vraisemblable qu'on s'y trouve en présence de deux groupes de filons. Au sud du synclinal du Pic du Diable, on peut suivre une série d'affleurements jusqu'à la rive occidentale de l'extrémité nord du Lac supérieur de Fully. Au sud de ce lac, dans la galerie de l'Usine de Fully, à 280 m de l'embouchure, c'est-à-dire à 100 m en avant du grand puits, on a traversé un filon plongeant de 60° vers le NW. Le toit de la couche est formé par des schistes, dont le filon est franchement séparé par une faille. Le filon lui-même, d'épaisseur assez inégale, variant entre 0,5 et 1,5 m, se compose d'un anthracite fortement disloqué et clivé, d'un poids spécifique de 2,08. A la base de la couche se trouve un grès gris moins incliné. A partir de là, ce filon se laisse poursuivre dans une série d'affleurements, par Château Tour et Tête de Luy taise, probablement jusqu'à la mine de Méreuna.

Dans la région houillère décrite ci-dessus (Dorénaz—Méreuna—Lac de Fully), l'anthracite n'a été exploité que sur le Plan de la Méreuna. Environ à 400 m au sud des chalets de Paccotaires, un filon, dirigé N 55° E et incliné de 70° vers le NW, a été jadis exploité en direction entre 1510 et 1730 m d'altitude au moyen de 6 galeries et fouilles superposées. La seconde galerie à partir d'en bas, à 1623 m, a suivi, sur 130 m de longueur, un filon en position normale, de 1 à 2,5 m d'épaisseur et un anthracite à grain fin et relativement pur y a été exploité. Sur une largeur de 200 m au nord du filon principal, dans la direction de Paccotaires, on entama encore d'autres affleurements de charbon fortement resserrés.

Lorsqu'en mai 1917 on reprit les travaux, on rouvrit tout d'abord l'ancienne galerie II, longue de 130 m. Elle a main-

tenant 450 m de longueur. A 150 m de l'embouchure, le filon s'élargit en une poche de 80 m de longueur, qui atteignait par places 6 m d'épaisseur, et qui fut abattue jusqu'à une hauteur de 25 m. A 230 m de l'embouchure, le filon se rétrécit toujours plus, jusqu'à un minimum de 15 cm d'épaisseur; sur ce parcours de resserrement, des filonnets de quartz blanc se présentèrent en abondance. A partir de 320 m le charbon reparut et pendant 130 m, c'est-à-dire jusqu'à l'avancement, présenta une épaisseur moyenne de 2,5 m, avec de fréquentes intercalations de schistes. A 390 m, le filon sembla s'épaissir dans la paroi sud, et l'on poussa un travers banc vers le sud à travers le charbon pendant 9 m de longueur, jusqu'aux grès qui forment le mur de la couche. Les autres travaux entrepris ont prouvé que, dans le filon qui plonge de 60° vers le nord, la position des couches a été compliquée par la formation d'un pli secondaire. Le flanc sud de ce synclinal secondaire a été constaté par un plan incliné montant à 70 m dans une couche de bon charbon de 3 m d'épaisseur, et a été suivi en direction sur 50 m de longueur.

L'ancienne galerie IV, à 62 m au-dessus de la galerie principale II, forme actuellement la galerie III; elle a été continuée jusqu'à 143 m de longueur; en général, elle a suivi le filon, fréquemment mélangé de schistes. A 85 m de l'embouchure, la galerie III a été reliée avec la galerie II par une taille descendante. Les travaux de la galerie III ont démontré que la première grande poche de la galerie II ne se prolonge pas vers le haut. Une troisième galerie (I) fut ouverte à 1585 m d'altitude, c'est-à-dire à 38 m au-dessous de la galerie II et poussée vers l'intérieur sur 290 m de longueur. A 35 m de l'embouchure, on rencontra un filon vertical de direction normale. Le prolongement de la galerie a prouvé qu'ici aussi le filon a subi un plissement secondaire, de telle sorte que, entre 35 et 146 m, la galerie suit le filon du flanc nord du synclinal, tandis qu'entre 186 et 290 m, après une déviation de 15 m vers le sud, elle a atteint le flanc méridional.

En 1918, favorisée par l'exploitation de la grosse lentille dans la galerie II de Méreuna, la production de la mine Dorénaz a atteint 12,590 tonnes, maximum des mines du Valais. De 1917 à la fin de février 1919, 14 échantillons de tout-venant ont donné en moyenne 40,8 % de cendres et un pouvoir calorifique de 4113 cal. kg. Six échantillons de la grande lentille de la galerie II ont donné en moyenne une teneur

en cendres de 30 %; les échantillons prélevés dans le plan incliné pratiqué au point 390 dans la galerie II contenaient en moyenne 29 % de cendres. Le combustible exempt de cendres et asséché a donné les valeurs suivantes:

C	H	O+N	H:O+N	Chaleur de Combustion
95,7	1,4	2,9	1:2,1	7880

B. Du Lötschental au Tödi (Massif de l'Aar).

L'extrémité nord-est du massif du Mont Blanc, avec ses schistes cristallins et la formation carbonifère qui les recouvre, plonge dans la dépression de l'Alpe de Fully vers le N-E sous les masses des Hautes Alpes calcaires et ce n'est que 45 km plus au N-E, à l'ouest du Lötschental, que ces roches reparaissent sous la couverture mésozoïque. Tandis que le Carbonifère de la zone du Briançonnais (zone interne) se termine déjà en Valais, nous retrouvons dans le massif de l'Aar, qui émerge et s'étend du Lötschental à l'Oberland grison, des traces de la formation carbonifère qu'il faut rattacher à la zone externe et qui, avec le massif de l'Aar, se prolongent jusqu'au Tödi. Sur l'*Alpe de Faldun*, un pli étroit et redressé de Lias, de Trias et de Carbonifère apparaît, enserré entre des schistes cristallins. En 1880 on y a extrait de l'anthracite graphitique. Le carbonifère de l'Alpe de Faldun plonge en profondeur, et se retrouve dans le *Tunnel du Lötschberg* entre le km 1,520 et le km 1,542 (à partir du portail sud) avec une épaisseur de 22 m. Il se compose des couches suivantes: 1. Schistes argileux riches en graphite (2 m); 2. Anthracite compact (1 m); 3. Schistes argileux riches en graphite avec anthracite et, 4. Schistes sériciteux (6 m). L'anthracite qui apparaît entre les km 1,522 et 1,523 est compact, de grain fin, contient seulement 16,5% de cendres et a un pouvoir calorifique de 6370 cal. kg.

Mine Ferden. En septembre 1917, dans l'affleurement du synclinal carbonifère de Faldun, puissant d'environ 60 m, l'anthracite a été fouillé au S-W de Goldschenried, à 1550 m d'altitude, à 250 m au-dessus du fond de la vallée de Lötschen. L'anthracite y forme deux couches distantes d'environ 1 m, épaisses de 0,8 m et de 0,2 m. Elles sont enfermées dans des schistes charbonneux et sableux, épais de 15 m en-

viron, en position verticale. — C'est dans ces filons qu'on ouvrit, sur la pente qui domine le chemin du Lötschental, les galeries de direction de la Mine Ferden, soit: la galerie II à 1551 m d'altitude; la galerie III à 1535 m; la galerie IV à 1515 m et la galerie V à 1495 m; leur longueur totale ascende à 450 m. Le filon qu'elles suivent court, avec une grande régularité, à $^1/_2$ mètre de distance, parallèlement à la ligne de contact sud des schistes noirs et des schistes clairs à séricite, et son épaisseur exploitable s'élève jusqu'à 1 m. A une distance de 6 à 12 m au nord de ce filon, un second flötz, moins épais et moins régulier, a été atteint à partir de la galerie II par un travers banc de 10 m de longueur. Les galeries IV, III et II, étagées les unes au-dessus des autres, sont reliées par des plans inclinés pratiqués au sein du filon. Comme l'embouchure de la galerie II est située dans un couloir d'avalanche, on a ouvert, en partant du sud, un travers banc de 22 m de longueur, qui rejoint la galerie d'exploitation.

La production de la Mine Ferden a atteint en 1918 le chiffre de 2083 t. La teneur moyenne en cendres de 8 échantillons de tout-venant était de 38,9 %, avec un pouvoir calorifique de 4107 cal. kg. Le combustible exempt de cendres et asséché, comparé à celui du tunnel du Lötschberg, donne les valeurs suivantes:

	C	H	O+N	H:O+N	Chaleur de Combustion
Mine Ferden . . .	96,6	1,3	2,1	1:1,6	8004
Tunnel du Lötschberg	97,0	1,2	1,8	1:1,5	8141

A partir du Lötschental, le massif de l'Aar continue à s'étendre vers le N-E sur 120 km de longueur, jusque dans l'Oberland grison. Là aussi des synclinaux de sédiments carbonifères se trouvent entre des schistes cristallins. Du carbonifère avec des filets d'anthracite a été constaté au *Wendenpass* au sud du *Titlis*. Dans une zone de sédiments carbonifères intercalés, sur une distance de 5 km environ, parmi les schistes cristallins redressés entre la vallée de la Reuss et l'Etzlital, on trouve, près de *Bristenstäfeli* sur les flancs du *Bristenstock*, à 1520 m. d'altitude, des filons épais parfois d'un mètre d'un anthracite fortement graphitique. Au *Bifertengrätli*, au N-E du Tödi, on a retrouvé dans le Carbonifère

des restes de plantes qui montrent que l'âge de cette couche est celui du Westphalien supérieur (Saarbrücker-Schichten). Dans des grès et des schistes noirs, l'anthracite forme des miettes et des filets déchirés. On a aussi observé des lentilles d'un anthracite assez pur, se délitant en fragments cubiques, et atteignant une épaisseur de 30—45 cm.

II° Zone interne.

(Grand St-Bernard-Sion-Tourtemagne-Simplon.)

A. Du Grand St-Bernard aux Etablons.

Les gisements les plus importants, au S. et à l'W. du val d'Entremont, qui ont tous été au moins fouillés, sont les suivants:

Col de Fenêtre et *Col de Fontainte* au NW. du Grand St-Bernard.

Combe des Planards. Filons plongeant de 40° vers le SE., ayant jusqu'à 60 cm. d'épaisseur.

Combe Revédin sur La Sailloz, dans le Val Ferret.

La Tzissetaz dans la Combe de Lâ.

Mine Champdonne à 4 km. au SE. d'Orsières. A la base de la couche carbonifère près de Champdonne se trouvent deux séries de filons. Dans la série inférieure, à 400 m. au nord de Champdonne, on a, en automne 1917, suivi en direction un filon sur une distance de 100 m., on y a trouvé une poche rapidement rétrécie. Dans la série supérieure, à 100 m. au nord-est de Champdonne, un travers banc pratiqué à 20 m. au-dessous d'anciennes galeries a rencontré à 70 m. de l'embouchure une couche, qui plonge de 40° vers l'est.

Mine des Arpalles, à 3 km. à l'est d'Orsières. Dans le mur du Trias du Sixblanc près des Arpalles et plus au sud dans la Forêt de la Deuva, on a mis au jour plusieurs filons d'anthracite. Près des Arpalles, au „Jeur des Cornes", à 1828 et à 1835 m. d'altitude, une couche a été suivie en direction au moyen de deux galeries, l'Helvetia et la Romande, sur une longueur de 70 m. environ, et un travers banc pratiqué plus bas, à 1770 m. d'altitude, a atteint le même filon à 120 m. de l'orifice. La production des Arpalles a atteint 175 t. en 1918.

Le combustible extrait en septembre 1917 et en mai 1918 de la Galerie Romande avait, avec 27,8 % de cendres,

un pouvoir calorifique de 4968 Cal kg. Le charbon pur a donné :

	C	H	O+N	H:O+N	Chaleur de Combustion Cal. kg.
Les Arpalles . . .	95,7	1,0	3,3	1:3,3	7744

Le charbon correspond à peu près aux qualités moyennes de l'anthracite valaisan, et se classe parmi les variétés riches en oxygène.

Sur le Six et Sapey, au S. de Bagnes. La petite mine des „Agiettes“ se trouve au SW. de Sapey, à l'altitude de 1400 m.

Vernay-Fontanelle, au NE. de Bagnes. La zone médiane de Trias monte de Bagnes par Verbier vers les Etablons. L'ancienne mine d'anthracite de Vernay est au toit, tandis que, près de l'usine électrique de Verbier, existent d'anciens travaux, dans un filon, au mur de ce Trias.

Les Etablons. au S. de Riddes. La zone triasique médiane passant au Col des Etablons est particulièrement gypsifère. A ces altitudes et jusqu'au-dessus de 2000 m. affleure toute une série de filons d'anthracite, soit au toit, soit au mur de ce Trias. — Près des Chalets des Etablons, à 2160 m., se trouve une ancienne mine, dans laquelle on a jadis exploité les filons dans le mur du Trias de Creuzier (2313 m). Dans la Forêt des Etablons, à 1850 m. environ, les seuls filons qui aient été constatés dans le Carbonifère du toit du Trias médian ont été également exploités autrefois, et on y a récemment suivi en direction sur 40 m. environ par une galerie un filon plongeant de 80° à l'est. Le charbon extrait contient 50 % de cendres et a un pouvoir calorifique de 3300 cal. kg. Dans le mur de la zone médiane de Trias on a aussi, il n'y a pas longtemps, rencontré un filon, à 1950 m. environ, dans la Forêt des Etablons (Mine Landzon). A 27 m. de l'embouchure, le filon a 70 m. d'épaisseur.

Les filons des Chalets des Etablons, que l'on peut suivre pendant 3 km. environ dans le mur du Trias médian, trouvent leur continuation dans les filons de Moulin près d'Isérables, tandis que la continuation des filons de la Forêt des Etablons, dans le toit de la zone médiane de Trias, n'a pas été constatée dans la région d'Isérables.

B) D'Isérables à Bramois.

A partir de la vallée de la Fara près d'Isérables jusqu'au delà de la Borgne près de Bramois, sur un parcours de 16 km. le long du versant sud de la vallée, nous trouvons une zone ininterrompue de Carbonifère productif. La couche s'abaisse de l'ouest à l'est; près d'Isérables, la limite supérieure du Carbonifère est à 2200 m. d'altitude; elle atteint le niveau de la vallée du Rhône près de Bramois, à 500 m. d'altitude. A 4 km. à l'ouest de Sion, sur la rive sud du Rhône, la zone du Trias médian disparaît au-dessous du thalweg. Les filons productifs se trouvent aussi bien dans l'écaille supérieure que dans l'écaille inférieure. Naturellement les filons qu'on exploite de préférence sont, à l'ouest, ceux de l'écaille inférieure, au-dessous de la zone médiane de Trias, et à l'est, ceux de l'écaille supérieure, au-dessus de cette même zone. Le territoire indiqué ci-dessus, y compris Grône plus à l'est, forme le centre minier de la zone interne. En résumé, il y a au-dessus du niveau de la vallée du Rhône 3—5 filons superposés exploitables. Leur épaisseur totale normale étant de 2 m. et le bassin houiller ayant une superficie de 1000 ha., la quantité de charbon s'élèverait à 5 ou 10 millions de tonnes.

Les mines à mentionner sont, de l'ouest à l'est: *Isérables, Nendaz, Aproz, Chandoline, Salins et Bramois.*

1. Carbonifère dans le mur de la zone médiane de Trias.

Dans le carbonifère d'Isérables à Bramois, les filons de la moitié occidentale, ceux d'Isérables, de Mauvais Four, de St-Sébastien, de Coor, d'Aproz et de Baar, sont situés dans le mur de la zone médiane de Trias. La base du carbonifère atteint la vallée du Rhône près de Bieudron, à 9 km. à l'W. de Sion. Les filons de la moitié orientale s'étendant sur une distance de 16 km., de Salins à Bramois, appartiennent au toit de la zone médiane de Trias.

Isérables. Le Trias médian (venant du Col des Etablons) traverse la vallée de la Fara près de Les Combaz (Moulin), à 1,5 km. au sud d'Isérables. Le Carbonifère du mur du Trias contient, sur la rive droite de la vallée, sur une distance de 4 km entre Isérables et Condemine, un nombre considérable de filons. Le charbon a été exploité autrefois: 1° près de Moulin et Batindy au sud d'Isérables, où l'anthracite ap-

paraît dans des ardoises. 2° Au-dessous des Crettaux au nord et en dessus d'Isérables à 1240 m. d'altitude, où les galeries atteignaient avant 1914 une longueur totale de 250 m. L'anthracite qu'on y extrayait était de nature graphitique; ce qui le fit employer jusqu'en 1910 comme „noir pour fonderie". 3° Près de Condemine à 1150 m., à 1 km. au nord-est d'Isérables, où on a exploité du „graphite" dans une galerie longue de 50 m.

Depuis 1916, les mines ont été remises en exploitation sur une grande échelle près d'Isérables. La production a atteint environ 40 t. en 1916, 1608 t. en 1917 et 1226 t. en 1918. Les emplacements où l'on exploite sont Moulin (1080 m.), Tell et Félix (1250 m.) à 0,5 km. d'Isérables, et la mine principale d'Isérables, au-dessous des Crettaux (1200—1300 m.).

La longueur actuelle des galeries de la mine Moulin atteint 300 m. environ; à 4 niveaux (1076—1098 m.), on a rencontré 5 filons normalement superposés, plongeant de 45° vers l'est, dont l'épaisseur est de 0,1 à 0,8 m. — Les galeries Tell et Félix, d'un développement total de 200 m. sont neuves. La galerie Tell suit un filon dirigé vers le N 20° E, plongeant de 4° vers l'ESE., épais de 0,4 m., et qui, n'ayant au-dessus de lui qu'une couverture de 40 m. au maximum, se trouve tout à fait dans la zone des glissements superficiels, et présente en effet des dislocations multiples et une grande abondance d'eau.

Les travaux les plus importants ont été exécutés dans la „mine principale" d'Isérables. Déjà avant 1914 on avait établi un câble, dont la station supérieure se trouve à 1200 m. Près de là, à 1212,73 m., on a poussé un grand travers banc, d'abord vers E 15° N sur 150 m. de longueur, puis vers E 25° S sur 270 m. de longueur. Ce travers banc a atteint, à 156,66 m. de l'embouchure, dans des schistes argileux un premier filon exploitable; sur le prolongement, long de 264 m., le travers banc a traversé une épaisse masse de conglomérats, avec des couches de schistes stériles à 225, 300 et 325 m. de l'embouchure. A l'avancement, on trouve des grès quartzeux, que surmontent de nouveau des conglomérats. Les prochains filons de houille qu'on peut s'attendre à rencontrer en s'enfonçant dans la montagne au moyen du travers banc, sont ceux de la zone des ardoises d'„En Bètoz", qu'on n'atteindra guère que 250 m. plus loin. Le filon traversé à 156 m. de l'ouverture a été exploité sur 100 m. de longueur par des galeries de direction vers le nord et vers le sud.

Dans la partie septentrionale, le filon qui se dirige N 15° E s'est abaissé de 15 m vers le nord le long d'un décrochement dirigé N 45° W. Au moyen de tailles ascendantes et en pratiquant, à 5 et 15 m. plus haut, de nouvelles galeries de direction de 120 m. de longueur,on a exploité la continuation du même filon. Au-dessus de ces deux nouvelles galeries de direction se trouvent les anciens travaux, qui ont été ouverts au moyen de la vieille „Galerie supérieure", située à 30 m. environ au-dessus du grand travers banc nouveau. Il faut remarquer que la vieille Galerie supérieure et ses ramifications très irrégulières d'une longueur totale de 250 m. ont rencontré 5 filons dans une masse unique de schistes épaisse d'environ 30 m. Ces filons sont en général très irréguliers; leur épaisseur varie de 0,2 à 1,2 m.; par places ils s'amincissent jusqu'à disparaître, et, légèrement ondulés, plongent sous un angle de 15 à 30°. De tous ces filons, le dernier seulement atteint le grand travers banc, à 140 m de son embouchure.

Dans les couches carbonifères au-dessus d'Isérables, à une altitude de 1300 m., on constate plusieurs nouveaux affleurements d'anthracite appartenant à une étroite zone de schistes argileux encastrés dans des conglomérats. Ces affleurements ont déterminé l'ouverture, à 1301,05 m., de la nouvelle Galerie Meyer, travers banc dirigé directement à l'est, d'une longueur de 160 m. Pendant 60 m. à partir de l'embouchure, le travers banc a suivi une bande de schistes légèrement onduleux, écrasés, traversant anormalement les conglomérats; le filon d'anthracite qu'il contient est naturellement irrégulièrement développé. Au delà de ces 60 m., la couche de schistes, puissante d'environ 10 m, prend une allure normale, et plonge avec son filon de 40° vers l'Est, vers l'intérieur de la montagne. C'est cette couche de schistes qui est atteinte par le travers banc principal, à l'altitude de 1200 m., à 320 m. de son embouchure; mais elle y est stérile. Le filon rencontré dans la Galerie Meyer a été suivi en direction par deux galeries quittant le travers banc à 50 et à 60 m. de l'entrée, et poussées vers le nord sur une longueur de 70 et de 40 m. — Dans le travers banc Meyer on a traversé sur les 100 derniers mètres des couches de conglomérats, interrompues à 110 m. de l'embouchure par une couche de schistes stériles de 5 m d'épaisseur. Le total des galeries Meyer est d'une longueur de 350 m.

Les galeries construites à Isérables depuis 1915 atteignent environ 1 km. de longueur.

L'exposé ci-dessus montre que les deux galeries d'Isérables, le travers banc principal et la Galerie Meyer, n'ont pas répondu aux espérances, puisque les filons rencontrés ne permettent ni par leur nombre ni par leur qualité une exploitation lucrative. L'extraction a dû en somme se restreindre à la région de l'ancienne mine, au-dessus du niveau du travers banc principal. Dans ce dernier on ne peut attendre de nouveaux filons qu'en le continuant encore pendant 250 m. La situation est un peu meilleure dans la Galerie Meyer, vu que les filons qui affleurent entre 1350 et 1400 m. d'altitude seront probablement atteints si l'on pousse l'avancement 80 m. plus avant. Toutefois, malgré leur situation topographique moins favorable, ce sont les mines de Tell-Félix et de Moulin qui, d'après la position et la nature des filons, offrent le plus de chances de succès.

En 1913 et 1914, à la suite d'un examen tout à fait provisoire, les experts avaient proposé, pour ouvrir des filons d'Isérables, de pratiquer, à 1080 m., d'altitude, à environ 120 m. au-dessous et à environ 230 m. au nord-ouest de la station du câble, un travers banc dirigé vers ESE. Des relevés géologiques détaillés ainsi que les résultats acquis dans les galeries d'Isérables montrent maintenant qu'il est très probable que ce travers banc n'atteindrait que le filon principal de la mine d'Isérables, après environ 500 m. en position normale, c'est-à-dire à environ 300 m. au-dessous de la surface du sol. Nous ne pourrions donc guère recommander d'entreprendre après coup la construction de ce travers banc.

L'étude géologique détaillée de la pente qui domine Isérables, jointe aux relevés des mines, montre que la structure géologique dans la région de la mine d'Isérables est plus compliquée qu'on ne s'y attendait. Sans une exception, aucun des nombreux filons qui affleurent dans cette région ne s'enfonce à l'intérieur sous un angle constant. Dans la zone superficielle, les filons se rapprochent tous de l'horizontale. Ce phénomène peut dans certains cas se ramener à un décrochement superficiel (Hackenwerfen). Dans la région de la mine principale, nous remarquons que le filon principal, à l'altitude de 1260 m., s'enfonce pendant 50 m. dans l'intérieur de la montagne en ondulations horizontales et ne prend qu'après son inclination normale de 40° vers l'est; un phénomène analogue se constate aussi dans les couches supérieures dans la région de la Galerie Meyer (1301,05 m.) où le filon d'anthracite se maintient de même à peu près horizontal pendant

100 m. à l'intérieur de la montagne avant de prendre son angle normal d'inclinaison vers l'Est. Dans les deux cas, on a pu prouver qu'une masse de conglomérats a été repliée horizontalement vers l'ouest en même temps que les schistes argileux contenant les flötz, et s'est affaissée dans le sens de la pente. Le filon horizontalement ondulé suit un plan de recouvrement. — Dans le travers banc principal, à 180 m de l'embouchure et dans la galerie à 15 m au-dessus, nous constatons sur 50 m de longueur une faille diagonale, qui traverse en direction N 45° W les couches dirigées N 15° E, avec un rejet vertical de 15 m du flanc nord-est.

D'après les analyses pratiquées sur les divers charbons d'Isérables, nous trouvons les valeurs suivantes pour les cendres et le pouvoir calorifique:

	Cendres	Pouvoir calorifique
I. Charbon tout-venant (1917):		cal. kg.
a. menu	41.8	3 631
b. moyen	40.0	3 892
c. gros	39.6	3 928
Moyenne	40.4	3 817
II. Echantillons des filons:		
a. Mine principale Isérables .	40.2	3 812
b. Tell et Félix	31.05	4 749
c. Mine Moulin	27.75	5 087
III. Affleurements (moyenne) . . .	36.4	4 118
IV. Moyenne du Valais	35.0	4 400

Du rapprochement de ces chiffres, il résulte que le charbon de la mine principale d'Isérables est d'une valeur inférieure à la moyenne de l'anthracite valaisan, que celui de Tell et Félix est à peu près équivalent à cette moyenne, tandis que le charbon de la mine Moulin est d'un qualité sensiblement supérieure. Le charbon tout-venant d'Isérables, d'après 6 échantillons prélevés de 1917 à février 1919, a donné 43,3 % de cendres, avec un pouvoir calorifique de 3204 cal. kg.

Pour le charbon pur, exempt de cendres et asséché, nous trouvons les valeurs suivantes:

	C	H	O+N	H:O+N	Chaleur de Combustion
I. Echantillons des filons:					
a. Mine principale Isérables	92.5	1.7	5.8	1:3,3	7612
b. Tell et Félix . . .	95 8	1.4	2.8	1:2	8011
c. Mine Moulin . . .	96.3	0.9	2.8	1:3,4	7874
II. Affleurements . . .	94.4	0,8	4.8	1:6	7588
III. Moyenne du Valais .	95.7	1.2	3.1	1:2,5	7700

Ce tableau aussi montre que les charbons de la mine Moulin ainsi que ceux de Tell et de Félix sont qualitativement supérieurs, ceux de la mine principale d'Isérables considérablement inférieurs à la moyenne valaisanne. La haute teneur en oxygène des échantillons des affleurements s'explique par l'oxydation qui s'est produite à la surface.

Dans le nord-est de la région minière d'Isérables se trouvent les anciens travaux de *Condemine*. Ils n'ont pas été remis en exploitation ces derniers temps. Par leur position géologique, ces filons intercalés dans des grès correspondent à ceux qui affleurent au-dessus de la Galerie Meyer à Isérables. Les filons sont fortement disloqués et leur anthracite est graphiteux.

Nendaz (Mine Mauvais Four). Au NE. de la mine de „Condemine", la plus orientale des mines d'Isérables, le Carbonifère forme jusqu'à la gorge de la Printze, le long du versant de la vallée, sur une distance de 6 km., une série de couches atteignant jusqu'à 3000 m. de puissance. Dans sa partie occidentale, son mur est encore constitué par des schistes mésozoïques; mais comme ces derniers disparaissent près de Bieudron dans la vallée du Rhône, il se trouve que, de Bieudron à Bramois, c'est la formation carbonifère qui forme le pied de la montagne sur le versant sud de la vallée du Rhône. Entre Condemine et la Printze, le Carbonifère est encore divisé par la zone médiane de Trias en une écaille supérieure et une écaille inférieure. Toute une série de filons anthracitifères, qui sont à découvert près de Mauvais Four, St-Sébastien et Coor, suivent le mur de cette zone médiane de Trias, tandis que le toit de cette zone ne présente des gîtes importants d'anthracite qu'au-dessous de Brignon dans la gorge de la Printze.

La mine actuelle de „*Mauvais Four*“ est située à 3 km. à l'E. de Condemine, à 800 m. au NW. et au-dessous de *Haute Nendaz*, au bord du chemin de Fey, à une altitude de 1130—1170 m., à 670 m. au-dessus du fond de la vallée. En 1858 on en a extrait 6000 q. d'un anthracite „d'excellente qualité“, „pure, brillante et feuilletée“. On a constaté la présence de 3 filons d'anthracite superposés parallèlement, qui ont été traversés par un travers banc et dont l'inférieur a été suivi en direction au moyen d'une galerie de 120 m. environ. Les travaux exécutés depuis 1916 ont montré que les 3 filons, désignés sous les noms de filon *Louise*, filon *Moyen* et filon *Max*, courent, avec une remarquable régularité, parallèlement l'un à l'autre à 25—30 m. de distance verticale totale sur 130 m de longueur en direction et sur 220 m. en plongeant de 30° vers l'intérieur. Le filon „Moyen“ est à 18 m. au-dessus du filon „Max“, le plus bas, et le filon „Louise“ est à 7—12 m. au-dessus du filon „Moyen“. Au-dessous d'une surface de 50,000 m², on a établi environ 1000 m. de galeries. A partir de la surface, les filons sont atteints par deux travers bancs; l'inférieur, pratiqué à 1133,9 m. d'altitude (Niveau O), et le supérieur, à 1170,3 m. d'altitude (Niveau 36,4). La principale exploitation a été réalisée en pratiquant dans le filon Max au niveau 36,4, à 30. m de l'embouchure, un plan incliné de 80 m. de longueur rejoignant le niveau O. Dans ce plan incliné, on ouvrit des galeries de direction dans le filon Max aux niveaux 24,4 et 15,3. Ainsi, les trois filons ont été coupés en travers banc à quatre niveaux (0; 15,3; 24,4 et 36,4) et à partir des points d'intersection, on a poussé des galeries de direction plus ou moins longues. Vers le NE., à partir de l'extrémité gauche du travers banc O, le champ de flötz n'a que 40 m. environ de largeur; les filons, dont la superposition maximale ne dépasse pas 60 m., se heurtent à une zone de dislocation courant du SE. au NW. Vers le SW., à partir de l'extrémité droite du travers banc O, les filons s'étendent avec une remarquable régularité dans une zone de 50 m. de largeur. Au bord SW. de cette zone, le filon supérieur „Louise“ est écrasé et collé contre le filon moyen le long d'un plan de recouvrement qui pénètre dans la montagne avec un faible angle d'inclinaison.

La série des couches contenant les filons de *Mauvais Four* qui, épaisse de 80 m. environ, est située à 80 m. au-dessous du Trias médian, présente une alternance d'ardoises et de grès. Trois groupes superposés d'ardoises ayant 5 à 10

mètres d'épaisseur apparaissent entre des couches de grès puissantes de 2 à 3 m. chacune. C'est dans ces ardoises que sont situés les trois filons. Ils sont en général en position parfaitement normale, dirigés N 30° E et plongeant de 25 à 30° vers le SE. Sur leur parcours, leur épaisseur varie de 40 cm. à 2 m. Ils ne forment nulle part de véritables poches. C'est le filon moyen, épais en moyenne de 1 m., qui est le plus constant, tandis que le filon Louise présente de plus fortes variations dans l'épaisseur du charbon, et se divise, dans les deux niveaux inférieurs, en deux lits, séparés par des intercalations de schistes. Le filon Max a une épaisseur moyenne de 60 cm.

Le charbon de *Mauvais Four* est en général d'un noir brillant, d'un grain grossier et peu graphiteux (voir p. 65). Il n'y a que rarement des filonnets de quartz dans le charbon. — La production de la mine pour l'année 1918 a atteint 4500 t. Onze échantillons de tout-venant prélevés de 1917 à février 1919 ont donné une teneur en cendres de 29,2 % avec 5646 cal. kg. de pouvoir calorifique, tandis que 6 échantillons prélevés dans le second semestre de 1918 ont donné 29,3 % de cendres avec 4906 cal. kg. Le tout-venant de la mine de Mauvais Four est ainsi le plus pauvre en cendres de tout le Valais.

Voici les chiffres des éléments du combustible exempt de cendres et asséché pour la mine de Mauvais Four.

	C	H	O+N	H:O+N	Chaleur de Combustion
	%	%	%		cal. kg.
Filon Max	94,4	1,2	4,4	1:3,66	7 783
Filon Moyen	92,6	1,3	6,1	1:4,69	7 626
Filon Louise	90,9	1,4	7,7	1:5,50	7 363
Moyenne de la mine Mauvais Four	92,6	1,3	6,1	1:4,70	7 591

Les trois filons présentent une différence remarquable dans la nature du combustible pur; le charbon du meilleur filon, le filon Max, accuse la plus haute chaleur de combustion. Mais ce qui caractérise surtout l'anthracite de Mauvais Four, c'est sa teneur élevée en oxygène; le rapport H : O + N y atteint les valeurs limites 1 : 3,6 à 1 : 7,1; nous pouvons considérer ce caractère comme la cause de la faiblesse relative de la chaleur de combustion. En effet, quoique son combustible pur ait une teneur plus élevée en cendres et une te-

neur moins élevée en matières volatiles, un anthracite du Valais peut présenter une chaleur de combustion plus élevée qu'un autre contenant moins de cendres et plus de substances volatiles. Cette infériorité de fait dans un combustible que sa teneur en cendres et en substances volatiles ferait croire meilleur, provient justement d'une teneur en O trop grande par rapport à l'H. Voici, pour illustrer cette constatation, la comparaison du charbon du filon Max de la mine de Mauvais Four avec d'autres échantillons d'anthracite du Valais.

	Cendres %	Substances volatiles %	Chaleur de Combustion cal. kg.	H : O + N
Mauvais Four . Filon Max . .	16,9	12,8	7464	1 : 5,8
Collonges	20,2	8,3	7829	1 : 1,3
Dorénaz	28,3	8,0	8203	1 : 1,5
Isérables	37,2	8,9	7689	1 : 2,4
Grône	28,6	5,4	8018	1 : 2,5

Le groupe d'ardoises qui, à Mauvais Four, contient les trois filons dans le mur du Trias médian se laisse suivre vers le NE. en passant par St-Sébastien jusqu'à la Printze, sur environ 2,5 km. A l'issue de la gorge de la Printze, sur le bastion occidental, on a exploité près de Coor, à 600 m. au sud d'Aproz, de l'anthracite situé dans le mur du gypse de la zone médiane de Trias. En 1858 on en a extrait 2200 q d'anthracite. — A un niveau inférieur, à 250 m. dans le mur du Trias médian, nous trouvons, au-dessous de la chapelle de St-Sébastien, à mi-chemin entre Mauvais Four et la Printze, plusieurs filons, épais au maximum de 80 cm., qui affleurent entre des schistes argileux. Ces filons n'ont pas encore été fouillés.

Aproz. Le Carbonifère situé au nord de la zone médiane de Trias possède encore, sur la rive orientale de la Printze, une largeur de 400 m.; en se prolongeant vers l'est, ce trias s'approche toujours plus du Rhône, et, à $1^1/_2$ km. à l'est de la Printze, il débouche, avec le Carbonifère sur lequel il repose, dans la vallée du Rhône, de sorte qu'en amont il n'y a plus que le Carbonifère de l'écaille supérieure qui apparaisse au jour. Dans les couches carbonifères, sur 400 m.

de largeur à l'issue de la gorge de la Printze, les affleurements d'anthracite sont abondants. Dans la paroi orientale de la gorge, haute de 200 m., en dessus d'Aproz, au-dessous de Baar, le gypse de la zone médiane de Trias apparaît au jour à environ 600 m. au sud de l'issue de la gorge, et, au nord de ce point, le Carbonifère forme un système de couches fortement plissées qui plongent vers le sud. A la base du gypse triasique se trouvent des ardoises qui contiennent le prolongement des filons de Mauvais Four et de Coor. Dans les grès, quartzites et schistes carbonifères extraordinairement plissés et fissurés qui leur succèdent vers le nord, on a entamé sur six points des filons d'anthracite, en position très anormale, présentant une assez grande extension. Ces „*mines d'Aproz*“ sont spécialement remarquables par le fait que, surtout dans le toit des filons, les grès, sur une épaisseur de 1—2 m., sont imprégnés de pyrite, de telle sorte qu'en réalité c'est la pyrite qui a été exploitée récemment dans les galeries V et I. Les entrées des galeries sont situées au flanc abrupt de la paroi, à 30—50 m. au-dessus de la Printze et ont été pratiquées dans les affleurements des filons. Le points d'attaque sont au nombre de trois.

1. *Galerie V (Calpini)* à l'issue de la gorge. Un filon accompagné de pyrite, courant WNW. à ESE. et plongeant de 20—40° vers le NNE., a été suivi en direction sur 40 m. de longueur et exploité jusqu'à 8 m. de hauteur verticale. L'anthracite forme dans le filon une poche atteignant $2^1/_2$ m. d'épaisseur.

2. *Galeries I, I^a, II et III,* à 250 m. au sud de l'issue de la gorge. Dans la paroi, à 40—60 m. au-dessus de la Printze, on discerne sur environ 150 m. de longueur, l'affleurement d'un filon fortement ondulé et souvent disloqué. Sa direction générale va aussi de WNW. vers ESE. et il plonge faiblement vers le NNE. A son extrémité N., il a été atteint par la courte galerie IV, et à 20 m. plus au S., une galerie de direction (III) sur 60 m. environ de longueur, a mis à découvert un filon d'environ 0,5 m. d'épaisseur. Vers l'extrémité sud du filon, on a ouvert trois galeries superposées, la galerie II à 550 m. d'altitude, la galerie I à 578 m. et la galerie I^a à 583 m. Ces trois galeries sont donc à 20, 48 et 53 m. au-dessus de la Printze. Chose remarquable, le filon doucement ondulé est ici traversé par une faille sinueuse et très inclinée qui traverse toute la paroi avec une direction générale de E 15° S et un plongement de 30 à

80° vers le N. C'est sur cette faille que les galeries II, I et I^a sont établies, et l'on peut clairement observer comment, à partir de la galerie I, l'anthracite pénètre, en ascendant, du filon dans la faille. Dans les galeries I et I^a, qui ont atteint une longueur de 220 m., on a uniquement exploité l'anthracite qui remplit la faille. Le charbon a été suivi, à partir du niveau de la galerie I, sur une hauteur verticale de 14 m., avec un angle de plongement de 80° à 40° vers le NNE.; l'épaisseur de l'anthracite atteint jusqu'à 2 m. Au toit de ce filon de faille s'étend la couche de grès imprégnés de pyrite.

3. Galerie VI, à 400 m. de l'issue de la gorge. Dans la paroi, on peut suivre, sur 80 m. environ de longueur, montant légèrement vers le sud entre 0 et 40 m. au-dessus du lit de la rivière, l'affleurement d'un filon dirigé N S, et incliné de 20—50° vers l'E. Les anciens travaux de cette galerie sont très étendus, et il n'y a plus guère qu'une faible partie (environ 250 m.) qui en soit encore accessible. Le filon suit en général les couches qui plongent irrégulièrement vers l'est, et forme des poches atteignant jusqu'à 4 m. d'épaisseur.

L'extraction d'anthracite à Aproz doit avoir revêtu une certaine importance à diverses époques; la production des années 1856—1858 a atteint environ 60,000 q.; la production totale doit s'élever à 5000 t. environ. En exploitant la pyrite en 1918 et 1919 dans les galeries I et V, on a aussi extrait quelques tonnes d'anthracite.

L'anthracite d'Aproz, qui a accompli une migration dans une fente de faille, appartient en général à la variété pulvérulente, noircissante, graphitique (voir p. 63). La variété bréchoïde et à gros grain qui prédomine à Mauvais Four, fait ici complétement défaut.

Les analyses de 5 filons ont donné en moyenne 30 % de cendres, et un pouvoir calorifique de 4900 cal. kg. Pour le combustible pur, nous trouvons les valeurs suivantes:

	C %	H %	O + N %	H : O + N	Chaleur de Combustion cal. kg.
Aproz	94,6	1,2	4,2	1 : 3,5	7829

L'anthracite d'Aproz correspond ainsi à peu près à la qualité moyenne du Valais. Remarquons que, quoique le filon soit accompagné de riches imprégnations de pyrite, l'anthracite d'Aproz est presque complètement exempt de pyrite, alors que celui de Collonges, par exemple, en contient jusqu'à 4 %.

Le groupe de schistes argileux dans le mur du Trias médian, qui passe par Mauvais Four-Coor-gorge de la Printze, est de nouveau à découvert au nord de Baar et atteint avec le Trias la plaine du Rhône à 1 1/2 km. à l'est d'Aproz. Droit au nord de *Baar*, ce groupe de schistes argileux affleure sur la pente escarpée sur une épaisseur de 300 m.; on peut y suivre sur 600 m. trois filons superposés, distants de 120 et de 60 m., et inclinés de 40° vers le sud. Des fouilles ont révélé une épaisseur de 20 à 60 cm dans ces filons d'un parcours assez régulier.

2. Carbonifère dans le toit de la zone médiane de Trias.

Dans le Carbonifère qui, de l'est de Baar jusqu'à Bramois, forme pendant 6 km. le pied de la pente de la montagne, nous trouvons. de l'est à l'ouest: la fouille de Clévaz et la Mine Salins, la Mine Chandoline, la galerie de la Fournaise, la galerie Maragnenaz et la Mine Bramois.

Salins. Le prolongement des couches de l'écaille supérieure constaté dans le haut de la gorge de la Printze au-dessous de Brignon reparaît 3 1/2 km. plus à l'E., près de Salins, des deux côtés de la route, à 260 m. à l'W. de l'église de Pravidonda. Les filons, liés à des couches de schistes argileux, se trouvent ici dans des grès, à environ 250 m. en dessous du Trias, qui est recouvert par des schistes cristallins. Sur l'emplacement d'anciens travaux de peu d'importance, on a ouvert deux galeries, l'une en dessus de la route, à 745 m., l'autre en dessous, à 702 m. La galerie supérieure est un travers banc de 90 m. de longueur qui, à 55 m. de l'embouchure, a atteint dans la zone d'affleurement un filon fortement redressé, au charbon très pulvérulent. La galerie inférieure est aussi un travers banc de 108 m. de longueur qui a croisé trois filons dont la superposition n'est que de 10 à 30 m. Le filon antérieur, irrégulièrement ondulé, apparaît dans le travers banc du 10e m. au 45e m., et a été suivi en direction vers le SW. par des galeries de 50 m. de longueur. — L'anthra-

cite de Salins est d'un grain fin noircissant. La teneur en cendres de deux échantillons est en moyenne, de 25 %, son pouvoir calorifique de 5200 cal. kg. Dans le combustible exempt de cendres et asséché, le rapport de H : O + N = 1 : 1,7, et la chaleur de combustion est de 8116 cal. — La production de la Mine Salins peut être évaluée pour 1918 à 200 t.

A environ 300 m. en dessous des couches de Salins, on a constaté au pied de la pente entre *Clévaz et Champs de l'Hôpital* deux filons d'anthracite dans le toit de la zone médiane de Trias. Ils sont situés dans des schistes argileux alternant avec des grès durs et des poudingues. De petits travaux entrepris autrefois et repris récemment n'y ont encore atteint aucune couche exploitable.

Chandoline. Une des plus grandes mines du Valais, productive dès le XVIIIe siècle, est celle de Chandoline, au bord du Rhône, vis-à-vis de la gare de Sion. En 1895, elle produisait encore 1500 t. L'exploitation entre 1850 et 1914 a fourni une quantité évaluée à 30,000 t.

Près de Chandoline, sur la pente, les couches carbonifères s'étendent jusqu'à une altitude de 800 m., où elles sont recouvertes par le Trias bordier. Dirigées N. 40—50° E. et inclinées de 30° vers le sud, elles ont donc une épaisseur de 6—700 m. au-dessus du niveau de la vallée. La roche prédominante est le grès; les poudingues, prédominants à Isérables, sont ici rares; des schistes argileux apparaissent à plusieurs niveaux en bancs intercalés de 5 à 100 m. d'épaisseur, de telle sorte qu'ils constituent à peu près le tiers du profil total. Ici aussi, les filons d'anthracite sont liés à ces schistes argileux: au bas du profil, dans une zone de 50 m. d'épaisseur, il y a quatre bancs de schistes de 10, 3—5, 6 et 20 m. d'épaisseur, qui contiennent des filons d'anthracite. Ces quatre filons, nommés récemment, à partir d'en bas, Filon Transvaal, Filon Berne, Filon Mayens et Filon Liège, sont séparés par des intervalles de 14, 7 et 20 m. Plus haut, à 150 m. au-dessus du fond de la vallée, on a constaté près de „Parfait" deux autres filons dans une puissante couche de schistes argileux.

La disposition des couches est, à Chandoline, extrêmement favorable à l'exploitation minière. A partir du niveau de la vallée, les 4 filons superposés qui plongent de 30° vers le SE. peuvent être coupés à leur base au moyen de travers bancs dirigés vers le SE. L'affleurement des couches d'anthracite étant à 20—50 m. au-dessus du talweg, les travers bancs peuvent entamer les filons après un parcours de 100

à 200 m. A partir du travers banc principal, le charbon doit être abattu dans des galeries de direction vers le NE. et le SW., ainsi que dans des plans inclinés remontant vers l'extérieur de la montagne.

Au sujet des anciens travaux, qui étaient peu rationnels et vicieux, nous ne possédons plus de plans. Toutefois, les anciennes galeries, pour la plupart éboulées, ont dû atteindre une longueur d'environ 1500 m., correspondant à la production totale estimée à 30,000 t. Le filon inférieur, nommé aujourd'hui „Transvaal", fut atteint à l'altitude de 495 m. dans un travers banc d'environ 120 m. de longueur dirigé vers ESE., et il fut exploité en direction sur 600 m. de longueur vers SSW. et vers NNE. et sur 30 à 50 m. de hauteur verticale. La couche affecte aussi la structure en chapelets et subit une série d'étranglements et d'élargissements qui donnent naissance à des lentilles ou des sacs qui, par places, mesurent jusqu'à 2 et 3 m. d'épaisseur. On a essayé de descendre dans la couche au-dessous du niveau du Rhône; malheureusement les travaux ont été tout de suite envahis par l'eau. Le filon intermédiaire, appelé aujourd'hui „Berne", a été atteint par le même travers banc à 150 m. de l'embouchure. Cette deuxième couche présente des caractères analogues à la première; elle a été suivie aussi sur une grande distance et les couches se prolongent certainement en direction; mais la galerie est présentement inaccessible par suite d'éboulements qui se sont produits pendant l'exploitation dans les régions où l'on avait croisé d'assez grandes lentilles que l'on a tenté de vider. — A environ 45 m. au NW. de l'ancienne galerie de direction Transvaal, on a atteint, à 530 m. d'altitude, à 40 m. environ au-dessus du fond de la vallée, la couche „Mayens" au moyen d'une galerie de direction.

D'après les anciennes et les nouvelles exploitations aujourd'hui accessibles, voici le tableau qu'on peut se faire de la „Mine Chandoline": La longueur totale des galeries nouvellement mesurées ascende à 2 km., au-dessous d'une surface d'environ 100,000 m². Il y a deux groupes d'ouvrages: dans le groupe du SE. on exploite, à partir du niveau O (495 m.) les couches inférieures Transvaal et Berne; dans le groupe du NW., on exploite, à partir de trois points d'attaque situés aux niveaux 37,16 (532 m.), 37,8 (533 m.) et 43,26 (538 m.), les trois couches Berne, Mayens et Liège.

a) Ouvrages du SE. Dans la vieille galerie de direction, longue d'environ 600 m., pratiquée dans la couche Transvaal, les anciens travaux au NE. du travers banc sont complètement éboulés et abandonnés; au SW. à 120 m. du travers banc, on a ouvert dans la couche Transvaal un plan incliné montant, dans lequel le filon a été exploité en direction à trois niveaux. La première de ces galeries de direction, à 6,5 m. au-dessus de la galerie principale, a suivi la couche exploitable pendant 155 m. vers le SW.; la seconde, à 14 m. au-dessus de la galerie principale, court aussi pendant 140 m. vers le SW. dans le flötz qui a en outre été suivi en montant doucement vers le nord. A 280 m. du travers banc vers le SW., on atteignit au moyen d'un travers banc long de 10 m. seulement, dirigé vers le SE., la couche supérieure „Berne" qui fut suivie en plan incliné jusqu'à un niveau de 20 m. plus élevé et, de là, exploitée en deux galeries de direction sur 200 m. de longueur. Ces deux couches Transvaal et Berne exploitées dans le groupe SE. présentent dans toute leur étendue une constance remarquable dans leur direction et leur inclinaison. L'anthracite de la couche Transvaal est pur; son épaisseur moyenne est de 1 m. Des refoulements sont visibles dans la couche au sud-ouest du grand plan incliné dans le filon Transvaal; et, plus à l'intérieur, on peut suivre sur 4 paliers, du niveau 25,62 m. au niveau 2,5 m., une zone de poches sur une largeur de 40 m. La couche Berne, exploitée tout au SE., forme une voûte aplatie, où le charbon atteint de 0,4 à 1,5 m. d'épaisseur.

b) Ouvrages du NW. L'ancienne entrée de ces ouvrages est située à 37,16 m. au-dessus du travers banc O des ouvrages du SE. La galerie d'accès suit sur 85 m. de longueur le flötz Mayens, en position normale, dirigé NNE., et s'enfonçant de 15—20° vers le sud. A partir de ce point, sur une longueur de 150 m. vers l'W., on peut suivre une faille, plongeant vers le sud de 45 à 75°, le long de laquelle, dans chacune des 4 couches superposées de la mine, le flanc sud a été poussé sur le flanc nord du sud au nord sur un espace de 2—5 m. A 85 m. de l'embouchure, la galerie tourne vers l'W., suit pendant 45 m. exactement la ligne de faille, et ce n'est qu'à l'extrémité nord, à droite, dans le flanc inférieur de la faille, que le charbon a été exploité. Au bout de cette galerie, s'ouvrent à 130 m. de l'embouchure (37,16) deux nouveaux secteurs des ouvrages du NW. Premièrement en 1917, on a ouvert vers le sud, c'est-à-dire perpendiculaire-

ment à la faille, un travers banc qui a aussitôt croisé le toit du flötz Mayens; 50 m. plus loin il atteignit, en position normale, la couche Liège qu'on suivit en direction pendant 55 m. à 45 m. au-dessus de la galerie Transvaal. Secondement, du point 130 à partir de l'embouchure, la couche Mayens fut suivie au nord de la faille. Le filon ne présentant ici que de faibles ondulations put être suivi et exploité dans trois galeries, dont deux dirigées de l'est à l'ouest et une poussée vers le nord. Celle-ci débouche au jour au niveau 43,26 après un parcours de 85 m. Dans le mur de la couche Mayens qui affleure près de cette ouverture (43,26), on peut aussi constater sur la pente de la montagne l'affleurement de la couche Berne. En 1917 et 1918, ce filon Berne a été suivi et exploité à partir du niveau 37,8 au moyen d'une galerie de direction dirigée vers le SW. qui pénètre dans la montagne sur 150 m. de longueur, et en outre au moyen de quelques tailles ascendantes. Par ces travaux on traversa de nouveau, à 100 m. de l'embouchure, la faille constatée dans la couche Mayens située au-dessus d'elle. Cette couche Berne a une épaisseur normale de 0,4 m., mais au nord de la faille entre 65 et 100 m. à partir de l'embouchure, elle est fortement refoulée et forme une poche atteignant 3 m. d'épaisseur dans laquelle l'anthracite est mélangé de schistes et parsemé de veines de quartz. Près de l'affleurement, c'est-à-dire à 20 m. de l'embouchure 43,26 et à 30 m. de l'embouchure 37,80, la couche Mayens et la couche Berne présentent encore une direction normale, N. 30° E., et sont inclinées de 20—30° vers le SE. A cet endroit, le groupe de grès épais de 7 m. qui sépare les schistes argileux de la couche Mayens de ceux de la couche Berne, est traversé sur une longueur de 80 m. en direction et sur une épaisseur de 3—6 m. par une masse d'anthracite en forme de poche, qui s'enfonce de 20° vers l'W.; les grès entrent en contact immédiat avec elle de tous les côtés, soit en direction, c'est-à-dire au N. et au S., soit au toit, à l'W., soit au mur à l'E. Ainsi la masse d'anthracite relie le toit du flötz Berne au mur du flötz Mayens en traversant les grès de part en part. Cette poche difficile à expliquer mécaniquement constitue sans doute la seule complication importante de tout le territoire de la Mine Chandoline, où la structure tectonique est en général normale.

En 1918, la Mine Chandoline a produit 4233 tonnes, provenant surtout, pour le groupe du SE., des niveaux supérieurs de la couche Transvaal et de la couche Berne, et pour

le groupe du NW., de la couche Berne (galerie direction NW. 37,8). Neuf échantillons de tout-venant prélevés de 1917 à février 1919 ont donné une teneur en cendres de 35,4 % avec un pouvoir calorifique de 4279 cal. kg. Trois échantillons de flötz ont été analysés, un pour chacune des couches Transvaal, Berne et Mayens. Deux d'entre eux, ceux des couches Transvaal et Berne sont équivalents avec 25 % de cendres et 5280 cal. kg. de pouvoir calorifique. Au contraire l'échantillon de la couche Mayens donne 37 % de cendres et un pouvoir calorifique de 4378 cal. kg.

Le tableau suivant indique la nature du combustible pur.

	C %	H %	O + N %	H : O + N	Chaleur de Combustion cal. kg.
Couches Transvaal et Berne . . .	95,2	1,1	3,7	1 : 3,3	7860
Couche Mayens .	96,7	1,4	1,9	1 : 1,4	8120

Il résulte de ce tableau comparatif que les échantillons des filons Transvaal et Berne correspondent à un combustible pur équivalent à la moyenne du Valais, mais bien inférieur au combustible pur des échantillons du filon Mayens. Mais par suite de sa teneur en cendres plus élevée, le tout-venant du filon Mayens n'a un pouvoir calorifique que de 4378 cal. kg., tandis que celui des filons Transvaal et Berne arrive à 5280 cal. kg.

Entre la Mine Chandoline et la Mine Bramois, sur une distance de 2 km., la zone carbonifère servant de base au Trias se rétrécit sur le flanc sud de la vallée de 600 à 200 m. A l'E. de l'affleurement déjà indiqué de „Parfait", se trouve, à 650 m. d'altitude, la *„Mine de la Fournaise"*. Droit au mur du Trias, des traces d'anthracite ont été atteintes dans le grès au moyen de deux travers bancs de 50 et de 120 m. de longueur. — Au pied de la pente de la montagne, à 700 m. à l'W. de Bramois, se trouve la mine *„Maragnenaz"*. De deux travers bancs ouverts autrefois, celui de l'E. est encore praticable sur 80 m. de longueur. Un banc de schistes argileux peu épais, intercalé dans des grès, contient un filon d'anthracite de 20 cm. d'épaisseur.

Bramois. Dans la zone carbonifère large de 200 m. seulement, comprise entre le Trias bordier et le niveau de la

vallée, le bas du profil, sur une épaisseur de 70 m., est formé par les couches suivantes: une bande inférieure de schistes argileux (20 m.), des grès (20 m.) et une bande supérieure de schistes argileux (30 m.). Les deux bandes de schistes argileux contiennent des filons; les schistes argileux inférieurs contiennent trois couches d'anthracite, dont la supérieure seule est exploitée actuellement, sous le nom de couche A. Les schistes argileux supérieurs contiennent 4 couches, B, C, D et E, qui ont été croisées par le travers banc II, mais ne sont pas encore exploitées. Le système des couches de Bramois plonge vers l'intérieur en plusieurs ondulations parfois fortement accusées, avec une pente moyenne de 35°. Mais contrairement à ce qui a lieu généralement dans le Carbonifère entre Isérables et Bramois, les axes de plissement montent d'environ 20° vers l'E., c'est-à-dire contre la Borgne. Les filons de la mine de Bramois se sont effondrés de quelques mètres à l'E. d'une faille située à environ 100 m. à l'ouest de la Borgne, dirigée NS., et inclinée de 80 à 90° vers l'W.

La Mine Bramois est la seule du Valais où l'on extraie des filons au-dessous du niveau du Rhône. Un puits rond de 10 m. de profondeur se trouve à environ 10 m. au sud de la route de Bramois à Sion. Dans les caves de la „Brasserie", à 30 m. au-dessous de la surface, on a découvert 3 couches d'anthracite, d'une épaisseur maximale de 2,2 m., dont les affleurements sont visibles à 50 m. à l'est, près de la rive occidentale de la Borgne. Les filons du groupe supérieur des schistes argileux ont été également atteints par d'anciens travaux au sud de Bramois sur la même rive. En 1895, la production annuelle indiquée pour Bramois n'était plus que de 100 t.

La réouverture de la mine eut lieu en 1917. L'exploitation actuelle s'effectue surtout dans la couche A., qui, formant le filon supérieur des schistes argileux inférieurs, pénètre dans la montagne en descendant, à partir de la surface, de 45° vers le SE., puis se prolonge à peu près horizontalement, pour plonger de nouveau fortement vers l'intérieur. La couche A, inclinée de 43° vers le SE., affleure à 512 m. d'altitude, à 40 m. environ à l'W. de la Brasserie; de là, elle a été suivie sur 15 m. en descendant jusqu'à l'endroit où elle redevient horizontale. La partie horizontale de la couche, entre 504 et 496 m. a été exploitée sous une surface de 5000 m². En outre, la couche A a été atteinte par le travers banc I, qui,

partant du seuil de l'ancien puits à 504 m. d'altitude, a été poussé pendant 80 m. en droite ligne contre le SE. jusqu'à la couche A, qu'il a ensuite suivie dans son ascension axiale vers le NE. A environ 20 m. au NE. du travers banc I, à 10 m. plus haut, le travers banc II avance pendant 140 m. vers le SSE. A partir de ce travers banc II, entre 30 et 50 m. à partir de l'embouchure, la couche A située au-dessus de lui a été également atteinte dans son ascension axiale vers le NE. Plus loin au SSE., le travers banc II a traversé pendant 60 m. les grès qui séparent les schistes argileux inférieurs des supérieurs, et il a croisé jusqu'à l'avancement, sur 55 m. de longueur, les 4 filons B, C, D et E dans les schistes argileux supérieurs. Le filon B a été suivi vers le SW. dans une galerie de direction de 85 m.; dans le filon C, on a poussé contre le SW. et le NE. des galeries de direction de 30 m. La couche exploitée (A) de la série inférieure présente dans son épaisseur des variations de 0,2 à 3 m. La formation de poches s'observe surtout aux endroits de courbures, où les strates des schistes sont coupées par l'anthracite. Dans la série supérieure, la couche B est seule ouverte sur une grande étendue; sur un grand parcours elle est fortement inclinée, avec des poches atteignant 2 m. d'épaisseur.

Le charbon de la couche A ressemble beaucoup à celui de la Mine Chandoline, tandis que celui de la couche B, plus fortement écrasée, est aussi plus feuilleté, plus graphiteux, avec des veines de quartz disséminées dans sa masse. — Neuf échantillons de tout-venant, provenant de la couche A, ont donné 31,6 % de cendres et un pouvoir calorifique de 4602 cal. kg. Le combustible exempt de cendres et asséché présente pour les filons A et B les valeurs suivantes:

	C %	H %	O + N %	H : O + N	Chaleur de Combustion cal. kg.
Bramois, Couche A	96,2	0,9	2,9	1 : 3,22	7913
„ „ B	94,1	1,3	4,6	1 : 3,54	7826

En 1918, la production de la Mine Bramois a atteint 4027 tonnes.

Sur la rive orientale de la Borgne, le Carbonifère n'apparaît plus à la surface. Le Trias bordier qui le recouvre atteint la vallée du Rhône à 1,6 km. à l'E. de Bramois, où

s'interrompt pour la première fois la bande du Carbonifère de la zone interne qui se poursuit sans interruption depuis le Grand St-Bernard. A l'E. de la Borgne, juste au sud de Bramois, une galerie construite en 1851, a mis au jour, sur 20—30 m. de longueur, un filon en position normale, plongeant au sud de 30° et présentant une épaisseur de 30 à 60 cm.

C. De Grône au Simplon.

1. Le Carbonifère sur le versant sud de la vallée entre Grône et Chippis.

A partir de 1,5 km. à l'E. de Bramois jusqu'à Grône, sur une distance de 2 km., le Trias bordier qui recouvre le Carbonifère forme le bord sud de la vallée. Le Carbonifère de la zone interne sous-jacent, remonte de nouveau plus à l'E. et forme entre Grône et Chippis, sur une longueur de 9 km., une zone étroite qui n'a au maximum que 400 m. de hauteur.

Grône-Réchy. Le versant de la vallée du Rhône au-dessus de Grône et de Réchy est sur 4 km. de longueur un ancien champ de mines. Voici les endroits où l'on a jadis attaqué et exploité le charbon:

1° A l'W. et au-dessus du collège de Grône, la galerie „Es Noyers", longue d'environ 200 m., a traversé quelques filons de charbon en général pulvérulent.

2° D'anciens travaux de peu d'importance se trouvent sur la pente, au S. et au SE. au-dessus du collège; ce sont la „galerie du Puits", la „galerie Dynamite" avec une „galerie Supérieure" et une galerie écroulée au pied de la pente.

3° Au-dessus de Merdassonet se trouve la „Mine jadis Calpini", dont la production fut en 1895 de 2000 t. D'après un plan de 1909, la mine se composait de 4 niveaux d'exploitation avec quatre entrées séparées. La longueur totale des galeries était de 2 km., dont la moitié est aujourd'hui éboulée. La production totale de la mine peut être évaluée à 25,000 tonnes.

4° A quelque distance à l'W. et au S. au-dessus de la „Mine jadis Calpini", les courtes galeries „Merdassière et Couttou" ont touché des filons de peu d'épaisseur.

5° A l'E., sur le versant gauche de la vallée de Réchy, des affleurements ont été suivis par quelques galeries plus ou moins longues, sans donner de résultats.

Les nouveaux travaux ont repris avec succès dans la partie centrale du champ houiller de Grône-Réchy. On a commencé par remettre en état la „Mine jadis Calpini"; en outre, à 300 m. plus à l'est, on a poussé le travers banc „Les Ettreys", et, 300 m. encore plus loin, on a ouvert la mine „Les Clous".

1° Dans la partie occidentale de la „Mine jadis Calpini", on a ouvert un nouveau travers banc, la Galerie Pernollet, longue de 300 m., qui, par 9 galeries de direction poussées vers l'W. et l'E., met à découvert sur une longueur totale de 500 m. deux filons, „Pernollet" et „Calpini". L'ancienne „Galerie de base", prolongée de 180 m., a atteint à 250 m. de l'embouchure un premier filon. 2° Dans la mine „Les Ettreys", un travers banc de 100 m., complété par des galeries de direction, a touché un filon de 1,5 m. d'épaisseur, et 3° dans la mine „Les Clous", on a mis au jour sur une étendue d'environ 4000 m² une couche d'anthracite horizontale épaisse également de 1,5 m. Encore plus à l'E., un travers banc a été poussé jusquà 100 m. de profondeur sur la rive droite du ruisseau de Réchy, un peu au-dessus du village, mais sans rencontrer de filons exploitables.

L'épaisseur maximale de l'ensemble du Carbonifère exploité près de Grône atteint environ 300 m., et on y a constaté la présence de 4 couches continues, en position normale et plongeant vers le sud; à savoir: 1) „Couttou", 2) „Pernollet", 3) „Calpini" et 4) „Les Ettreys". Des Clous jusqu'à Grône, la formation carbonifère s'abaisse de l'E. à l'W. sur une distance de 2 km., de telle sorte que son faîte est situé, au-dessus des Clous, à 800 m. d'altitude, et à 600 m. seulement, près de Grône, au-dessus de la galerie „Es Noyers"; il en résulte que dans le voisinage du collège les couches principales „Pernollet" et Calpini" se trouvent déjà au-dessous du niveau de la vallée du Rhône.

Ainsi qu'on peut le reconnaître surtout d'après les nombreuses galeries pratiquées dans la mine principale de Grône, la formation carbonifère, envisagée dans son ensemble, plonge en pente douce vers l'intérieur de la montagne, c'est-à-dire vers le sud. Elle forme un système de plis rejetés vers le N., dont trois ont été traversés par la mine. Dans les deux plis intérieurs visibles, les flancs en sont déchirés et les couches chevauchent le long de failles plongeant vers le sud.

Le charbon est développé soit en *filons normaux*, entre des couches fortement plissées, soit en masses charriées sur

les surfaces de chevauchement, qui correspondent à des flancs normaux supérieurs et à des flancs médians, tous déchirés; nous désignons ces filons sous le terme de *„filons de chevauchement“*. Dans la mine principale de Grône, nous trouvons trois de ces filons de chevauchement, qui servent de raccordement entre les filons normaux „Calpini“ et „Pernollet“.

L'épaisseur moyenne et constante des *filons normaux* dans la mine principale va de 0,6 à 1,5 m.; des épaississements locaux par refoulement sont liés aux endroits de fort plissement.

Les *„filons de chevauchement“* présentent des épaisseurs analogues, mais moins constantes, vu la fréquence des poches.

Tandis qu'à l'W. de la mine principale de Grône, les filons „Pernollet“ et „Calpini“ ne sont plus constatés qu'en partie et que sur une étendue très restreinte à l'E. du collège, ce même groupe de filons se laisse de nouveau identifier à l'E., dans la mine „Les Clous“. Il est plus difficile de suivre les „filons de chevauchement“ de la mine principale. Il faut admettre qu'à l'W., les galeries „Dynamite“ et „Supérieure“ ont rencontré l'un d'eux, vraisemblablement le troisième. Vers l'E., les filons de chevauchement disparaissent, l'allure des couches devenant plus tranquille, et ne présentant plus que des plis couchés.

Le filon normal atteint dans la „Galerie Ettreys“ est le plus bas de tous, et il n'a plus été rencontré ni à l'E., ni à l'W.; cependant il paraît avoir fourni, dans la „Galerie de base“ le charbon du premier filon de chevauchement, le plus septentrional. La couche la plus élevée, touchée dans la „Galerie Couttou“, n'a plus été rencontrée, ni à l'E., ni à l'W.

La production de la Mine Grône (jadis Calpini, les Ettreys et les Clous) est indiquée comme ayant été en 1918 de 7465 tonnes, ce qui donne à Grône le second rang parmi les mines du Valais, entre Dorénaz (12,590 t.) et Nendaz (4508 t.). En juillet 1919, la production journalière atteignait à Grône 9 wagons.

Pour 14 échantillons de tout-venant prélevés de 1917 à février 1919, nous obtenons 36,9 % de cendres avec un pouvoir calorifique de 4129 cal. kg. Huit échantillons de la seconde moitié de 1918 ont donné 42,2 % de cendres avec 3775 calories par kg.

Voici, comparées à la moyenne des échantillons de flötz, les valeurs obtenues pour les trois catégories du produit trié:

	Cendres %	Pouvoir calorifique cal. kg.
1) menu	37,3	3898
2) moyen	37,7	4085
3) gros	29,3	4716
4) Moyenne des échantillons de flötz	29,2	4782

Le tout-venant gros correspond donc exactement à la moyenne des filons et constitue donc la meilleure qualité de combustible dans la mine de Grône.

On a analysé des échantillons du filon Calpini et du filon Pernollet, ceux des filons de chevauchement 1, 2 et 3, enfin ceux des filons les Ettreys et les Clous. Voici les valeurs obtenues pour le combustible exempt de cendres et asséché.

	C %	H %	O + N %	H : O + N	Chaleur de Combustion cal. kg.
Mine Calpini					
Filons Calpini et Pernollet	96,3	1,1	2,6	1 : 2,36	8013
Filons de chevauchement	95,2	1,3	3,5	1 : 2,69	7960
Mine Les Ettreys .	97,9	1,3	0,8	1 : 0,61	8268
Mine Les Clous .	96,6	1,1	2,3	1 : 2,09	8049

Parmi les charbons des houillères de Grône, ceux des filons Calpini et Pernollet et ceux de la mine Les Clous sont tout à fait analogues et correspondent à une bonne qualité moyenne du Valais, avec 8030 cal. kg. de chaleur de combustion. C'est l'anthracite de la mine „Les Ettreys“ qui, avec le rapport le plus élevé pour H : O + N (= 1 : 0,61), présente la plus haute chaleur de combustion: 8268 cal. kg. Il est intéressant de comparer l'anthracite des filons Calpini et Pernollet avec celui des filons de chevauchement dans la mine Calpini. Les filons normaux donnent H : O + N = 1 : 2,36, avec une chaleur de combustion de 8013 cal. kg.; les filons de chevauchement donnent H : O + N = 1 : 2,69, correspondant à une chaleur de combustion de 7960 cal. kg. Il en résulte le fait intéressant que l'anthracite des filons de chevauchement est

plus riche en oxygène que celui des filons normaux, ce qui montre que ce charbon-là a subi une transformation secondaire ultérieure.

Chalais-Chippis. A partir de Réchy, le Carbonifère suit le pied de la montagne pendant encore 5 km. jusqu'à à l'E. de Chippis. Au sud de Chalais, au-dessus du village, on a traversé dans deux galeries superposées, de 10 et de 40 m. de longueur, l'extrémité d'un filon fortement écroulé, et on a extrait le charbon d'une petite poche de 60 cm. d'épaisseur. Plus à l'E., du côté de Chippis, on ne connaît aucun affleurement des filons d'anthracite. Entre 600 et 800 m. à l'ouest de Chippis, deux travers bancs ont traversé, sur un parcours de 60 m., deux couches de schistes charbonneux, et dans le village même de Chippis, on a poussé en 1918 la „galerie Beauregard" en travers banc pendant 50 m.; mais elle non plus n'a atteint que des schistes graphiteux. Dans la gorge de la Navigenze, à 800 m. au-dessus de Chippis, un coin de schistes carbonifères de 2 m. d'épaisseur est encastré dans les schistes cristallins.

2. Le Carbonifère sur le versant nord de la vallée près de la Station de Granges.

Les écailles du Carbonifère de la „zone interne" pressées du S. au N. contre les couches mésozoïques se rencontrent, sur la rive droite du Rhône, seulement près de Sion et entre St. Léonard et Granges, sur 2,8 km. de longueur. De l'anthracite a été découvert dans ce Carbonifère près de la station de Granges et dans le vignoble jusqu'à 1200 m. à l'W. de ce point.

Près de la station de *Granges*, l'anthracite a été exploité vers le milieu du XIXe siècle. A 30 m. environ au-dessus de la station, dans une vigne, on a mis au jour une couche d'anthracite dirigée N. 70° W. et plongeant de 65° vers le NE., dans une descenderie de 18 m. de profondeur. Le filon principal, accompagné de minces bancs d'anthracite, a une épaisseur d'environ 80 cm. L'anthracite a un grain très fin. — Au-dessus du Trias qui, à l'W. de la Station de Granges, domine la route, pendant 800 m. de longueur, de sa haute paroi rocheuse, on a fouillé à quelques places dans les vignes des traces de filons d'anthracite fortement redressés, dirigés de l'E. à l'W. — Au printemps 1917, on a entrepris deux travers bancs, qui, partant de la route vers le N., devaient rencontrer

ces filons. Le premier travers banc, l'occidental, à 800 m. à l'W. de la Station de Granges, a traversé du Trias, surtout du gypse, et, à 97,6 m. de l'embouchure, a touché un filon d'anthracite redressé, mêlé de quartz, et épais de 5 à 30 cm. Suivi sur 20 m. de longueur vers le NE., ce filon se perdit bientôt et seules quelques miettes de charbon en indiquent encore la direction. La couche a également été suivie sur 30 m. vers l'WSW. et recherchée dans un puits profond de 4 mètres et dans une cheminée de 6 m. de hauteur. Le filon assez constant dans la direction, variait d'épaisseur; des renflements atteignant jusqu'à 30 cm. alternaient avec des étranglements de 5 cm.; la couche était toujours triturée et mélangée de quartz, formant une brèche d'anthracite, de schistes argileux et de quartz. A 134 m. de l'embouchure, on atteignit, au front droit du travers banc légèrement dévié vers le NW., une poche d'anthracite épaisse de 5—40 cm., plongeant vers le S. A 142 m., on trouva des calcaires et des schistes calcaires plongeant abruptement vers le N. et à 152 m. le travail fut suspendu. — A 200 m. à l'E. du travers banc décrit, un second travers banc, l'oriental, de 54 m. de longueur, fut pratiqué dans le gypse. — Le travers banc occidental a donné environ 20 t. d'un anthracite très riche en cendres (47,31 %). Les travaux ont été suspendus en mars 1918.

3. Le Carbonifère entre Tourtemagne et le Simplon.

Après une interruption de 10 km. à l'E. de Chippis, nous retrouvons le Carbonifère sur le versant sud de la vallée du Rhône près de Tourtemagne, où il émerge sous le Trias et les schistes cristallins; à partir de là, il se laisse suivre vers l'E. jusqu'à l'Hospice du Simplon. Sur ce parcours, de l'anthracite a été extrait près de Tourtemagne et on a en outre opéré quelques fouilles près de Stalden.

Au pied du versant méridional de la vallée près de *Tourtemagne*, le Carbonifère affleure entre Agarn et la station de Gampel, sur une longueur de 6 km. environ, avec une largeur maximale de $1^1/_2$ km. Dans ce secteur, le Carbonifère par suite de son écaillement, alterne avec des intercalations de Trias et de schistes calcaires mésozoïques, de telle sorte que, à l'W. et à l'E. de Tourtemagne, entre Unterems et Tennenbach, on peut clairement distinguer un groupe inférieur et un groupe supérieur du Carbonifère. Le groupe supérieur, celui du sud, contient les filons à l'W. et à l'E.

d'Ergisch; dans le groupe inférieur, celui du nord, se trouvent, au bord du rocher à l'E. de Tourtemagne, les couches qui sont exploitées dans la *Mine Tourtemagne* et qui ont été fouillées près de la station de Gampel. Entre Agarn et Unterasp, à plusieurs places dans le mur des schistes cristallins, on a constaté des traces de filons d'anthracite bouleversés et plissés avec du Trias.

La *Mine Tourtemagne* est située à 700 m. à l'E. du village, au pied de la montagne. Sur l'affleurement du filon on a jadis ouvert une courte galerie. En 1916, les travaux ont été repris, et la production de 1918 a atteint 257 tonnes. Un filon dirigé NNE. et plongeant d'environ 30° vers l'ESE. a été atteint dans un travers banc de 8 m. de longueur et a été suivi en direction pendant 100 m. surtout vers l'E. Dans la galerie de direction de l'W., le filon était séparé par un banc intercalé en deux lits d'anthracite de 20 cm. d'épaisseur. Par places on trouva des renflements en poches de 2 m. d'épaisseur. Dans l'intercalation apparait de la pyrite, assez abondante par endroits, et mêlée de quartz blanchâtre. La couche fut exploitée en profondeur au moyen de deux descenderies; mais au bout de 2 à 3 m. on fut arrêté par une venue d'eau. A partir du filon principal, le travers banc fut prolongé de 45 m. environ suivant une ligne formant un angle aigu avec la direction, et il rencontra à 48 m. de l'embouchure un second filon qu'il ne valait pas la peine d'exploiter.

Cinq échantillons de tout-venant ont donné en moyenne 38,9 % de cendres et un pouvoir calorifique de 3688 cal. kg. Un échantillon du flötz de l'avancement W. a donné pour le combustible exempt de cendres et asséché:

C	H	O + N	H : O + N	Chaleur de Combustion
96,5 %	0,9 %	2,6 %	1 : 2,88	7892 cal. kg.

Pour le rapport H : O + N, le combustible pur de Tourtemagne coïncide avec la moyenne des anthracites du Valais; les valeurs extrêmes obtenues dans 5 échantillons ont donné, pour H : O + N, 1 : 1,8 et 1 : 4,6.

Stalden près de Viège. Les dernières ramifications orientales de la „zone interne“ du Carbonifère du Valais traversent les vallées de la Viège près de Stalden. Le Carbonifère

contenant des lits d'anthracites graphitiques apparaît ici à la zone limite de schistes cristallins et de schistes calcaires mésozoïques. L'anthracite et le graphite ont été fouillés sur la rive gauche de la Viège, près de l'usine électrique d'Ackersand au-dessous de Stalden, puis à la Gsponfluh, à 2,5 km. à l'E. de Stalden. A l'E. de la Viège on peut poursuivre le Carbonifère en passant par la Nanzlücke intérieure jusqu'à Wänge, à l'W. de l'Hospice du Simplon; mais sur ce parcours, il ne contient que des schistes charbonneux.

III° Le Carbonifère en lambeaux de recouvrement sur le Flysch.

Près de *Tanninges*, dans la vallée du Giffre, en Savoie, on connaît depuis longtemps l'existence de Carbonifère contenant de l'anthracite, que ses restes végétaux classent dans le Westphalien supérieur. Une couche de 1,2 m. d'épaisseur a été exploitée près de Tanninges. Les couches carbonifères y reposent sur le Flysch comme lambeaux de recouvrement et appartiennent originairement à la zone du Briançonnais. — Des restes analogues se trouvent aussi sur le territoire suisse près de *Morgins* au-dessus de Monthey: ici aussi plusieurs lambeaux de Carbonifère, accompagné de Permien, de cornieule triasique et de brèches jurassiques, reposent sur le Flysch de la formation tertiaire. Au fond du val de Morgins, le Carbonifère a été constaté à deux places. Sur le versant oriental de la Pointe de Chésery, à 4½ km. au SW. de Morgins, il affleure, formant une étroite bande au mur de Permien et de Trias, sur une distance de 500 m. dans le lit du ruisseau. Les empreintes de plantes sont très fréquentes; mais il n'y a pas d'anthracite. — Le second affleurement de Carbonifère se trouve à 1½ km. au S. de Morgins, près de „Foilleusaz". Le Carbonifère, atteignant 50 m. d'épaisseur, est accompagné dans la partie S. du lambeau par du Permien et du Trias; au N. il repose directement sur le Flysch. Outre de nombreuses empreintes végétales, le Carbonifère contient ici des schistes à anthracite atteignant 1,40 m. d'épaisseur. Vers 1910, on y pratiqua deux galeries, aujourd'hui écroulées, dont la supérieure, à 1580 m. d'altitude, suivit les schistes à anthracite sus-mentionnés sans rencontrer de filon exploitable, tandis que la galerie inférieure, à 1520 m., ne traversa que du Flysch.

C. La formation carbonifère près de Lugano.

Sur le versant sud des Alpes suisses, la formation carbonifère apparaît au N. de Lugano, au milieu des schistes cristallins du „Massif des lacs". Près de *Manno* se trouvent des poudingues avec des particules de charbon et des restes de plantes fossiles caractéristiques de l'étage d'Ottweiler. C'est dans des couches tout à fait analogues qu'on a trouvé récemment de la houille dans le *Val Colla*, à l'W. et au-dessus de Cimadera. A l'E. de Lugano, sur le flanc N. de l'arête „Denti della Vecchia — Cima Noresso — Torrione", une faille courant de l'W. à l'E. sépare les dolomies triasiques qui forment au S. la masse de la montagne, des schistes cristallins du Val Colla au N. Le long de la faille apparaît, au N. de la Cima del Noresso, entre les schistes micacés au N. et le Trias au S., une bande de Verrucano et de Carbonifère large d'une centaine de mètres. Les couches carbonifères se composent de grès, de conglomérats et de schistes, qui, épais de 60 à 70 m. et faiblement inclinés vers le S., reposent sur des schistes micacés, et qui se heurtent au S., avec les grès du Verrucano qui les recouvrent, contre la dolomie triasique. C'est dans les grès du carbonifère, fortement disloqués et désagrégés, qu'apparaissent des traces de charbon, dans une bande longue d'environ 100 m. et large de 20 m. On y a également fouillé des filons de charbon écrasés. Le charbon a un grain fin, il est brillant et ne déteint pas. Son poids spécifique est de 1,82. De bonnes variétés ont donné à l'analyse 24 % de cendres, avec un pouvoir calorifique de 5782 cal. kg. Pour le combustible exempt de cendres et asséché, les valeurs sont les suivantes:

C	H	O + N	S	Substances Volatiles	Chaleur de Combustion
84,8 %	5,5 %	8,5 %	1,2 %	31,2 %	8204 cal. kg.

Le charbon est donc très riche en gaz, et tout à fait identique avec les charbons à gaz carbonifères des houillères d'Ostrau-Karwin, en Silésie et en Moravie par exemple. *Le charbon du Val Colla est la seule houille carbonifère typique qui ait été trouvée en Suisse jusqu'ici;* elle est à tous égards totalement différente des anthracites du Valais datant du même âge.

D. Sondages pour la recherche de la houille dans la Région du Jura.

Le Carbonifère est développé dans les massifs jumeaux hercyniens de la Forêt-Noire et des Vosges au N. de la frontière suisse. Le Carbonifère inférieur (Culm) possède une grande extension sur le versant S. des Vosges entre Giromagny, Thann et Metzeral; nous trouvons la même formation sur le côté S. de la Forêt-Noire entre Badenweiler et Lenzkirch, ainsi que dans le Wiesental au S. du Blauen. Le Carbonifère supérieur productif manque dans la Forêt-Noire méridionale; il constitue par contre, au sud des Vosges les bassins de Ronchamp et de Saint-Germain. On peut supposer que le Carbonifère du Plateau central, des Vosges et de la Forêt-Noire se poursuit vers l'ouest et le sud, en Suisse, profondément enseveli sous le Jura, le Plateau et les Alpes calcaires, pour ne réapparaître qu'avec les massifs cristallins des Alpes. Si nous recherchons les relations du Carbonifère alpin avec la Suisse septentrionale, respectivement avec les Vosges et la Forêt-Noire, nous remarquons que la présence du Carbonifère productif est plus probable dans la Suisse occidentale que dans la partie orientale du pays; dans la région de Zurzach et de Waldshut, le grès bigarré, et près de Säckingen et à Rheinfelden le grès rouge, reposent directement sur le granit.

Lors d'un sondage au *Weyherfeld*, près de Rheinfelden, en 1875, on espérait pouvoir atteindre le Carbonifère productif au-dessous du Permien. A la profondeur de 352 m. on traversa le Permien et on atteignit le cristallin directement à la base de celui-ci. Un deuxième forage fut entrepris en 1898 près de *Mumpf*, dans le Permien moyen, et poussé jusqu'à la profondeur de 208 m., c'est-à-dire qu'il fut interrompu à 30—40 m. au-dessus du soubassement cristallin.

En 1828/35 et en 1874, à *Cornol* au SE. de Porrentruy, pour rechercher le sel gemme et la houille, on a exécuté des forages dans le Keuper du noyau anticlinal de la chaîne des Rangiers (Mont Terrible — Pl. I). On y a trouvé, à la profondeur de 330 m., de nouveau le Dogger et l'Oxfordien au-dessous du Keuper et du Muschelkalk. Comme à Cornol, partout dans les noyaux anticlinaux des chaînes du Jura, le Trias est en position anormale. Les recherches géologiques détaillées exécutées depuis plus de 50 ans, spécialement lors du percement des tunnels du Jura (Bötzberg, Weissenstein,

Hauenstein, Moutier-Granges), concordant avec notre forage de Cornol et ceux d'Adlikon (1846—47) et de Wisen (1849—52) dans la chaîne du Hauenstein, montrent péremptoirement que dans les noyaux anticlinaux les conditions tectoniques sont tout à fait défavorables à la recherche de la formation carbonifère sous-jacente.

Lorsqu'en 1888 surgit le projet de reprendre les sondages à Cornol, les géologues, tenant compte de ce fait, firent remarquer qu'il fallait se placer en dehors des plis jurassiens, c'est-à-dire dans le territoire au N. de la chaîne Rangiers-Lomont (Mont Terrible — Pl. I). Si l'Ajoie présente en effet l'avantage de l'horizontalité complète des couches, il est vrai que là, ce n'est pas, comme dans les anticlinaux des plis jurassiens, à Cornol, et dans la vallée du Doubs près de Vaufrey et de Montjoie, le Keuper qui y affleure, mais le Jurassique, qui le recouvre sur une épaisseur d'au moins 450 m. — Les conditions géologiques générales font présumer que le Carbonifère du sud des Vosges se poursuit vers le sud sous la couverture sédimentaire de l'Ajoie, et qu'entre Belfort et Porrentruy il existe dans la profondeur le prolongement vers le NE. du bassin de Blanzy-Creusot. En tenant compte de toute la série des formations composant la couverture sédimentaire, on pouvait s'attendre, puisqu'on était forcé de commencer le forage dans l'Oxfordien, à rencontrer des couches de houille à la profondeur de 1000 m. environ.

En juillet 1917, on commença le sondage de *Buix*, à 7 km. au N. de Porrentruy. A la surface, le diamètre du trou de sonde était de 35,5 cm. Jusqu'à 604,55 m. de profondeur, on pratiqua le sondage à ciseau; le sondage à carotte commencé avec un diamètre de couronne be 17,8 cm., atteignit en avril 1919 une profondeur de 1052,75 m.; le diamètre de la carotte n'y avait plus que 6,5 cm. On avait atteint la base du grès bigarré à 1043,20 m. de profondeur; on n'a donc entamé le grès rouge que sur 9,55 m.

Un fait important à relever, c'est que toute la masse de couches traversées, épaisse de 1052 m., est absolument horizontale. Comparés à leur conformation dans le Jura et au bord des Vosges, certains étages de ces formations présentent des changements de facies remarquables, qui impliquent un accroissement considérable d'épaisseur. Ces augmentations atteignent pour l'Opalinien 121 m., pour le Lias 46 m., pour le Keuper 66 m. et pour le Muschelkalk, avec 70 m de sel, 190 m., de sorte que la couverture jusqu'à la base du grès bigarré

se trouva de 420 m. plus épaisse que la prognose ne l'avait prévu. — Quant à la question de savoir s'il y a, oui ou non, des couches de houille dans le sous-sol de l'Ajoie, le sondage actuel de 1052 m. de profondeur ne donne pas le moindre indice. Nous savons seulement que la profondeur présumée du Carbonifère productif est de 420 m. plus grande que l'estimation première. Avant d'atteindre les couches à houille, il faut encore traverser tout le grès rouge et les couches supérieures stériles du Carbonifère. Dans les profils de sondages de Ronchamp, le grès rouge a accusé des épaisseurs de 121, 318 et 600 m. A Lomont, à 7 km. au sud du puits Magny de Ronchamp, à 30 km. au NW. de Buix, un sondage effectué dans le grès bigarré qui y affleure a même révélé une épaisseur de 950 m. pour le grès rouge, et n'a rencontré les premières couches de houille qu'à 1090 m. de profondeur. D'après ces données, on serait porté à estimer l'épaisseur du grès rouge, à Buix, à 500 m environ, et le gisement de charbon serait à une profondeur totale de 1500 m. environ. — Comme à 1052 m. de profondeur, le diamètre de la carotte s'était réduit à 6,5 cm., il n'était guère probable qu'on pût pousser le sondage encore 500 ou 800 m. plus profond; c'est pourquoi on fut forcé de l'arrêter.

Après l'achèvement du sondage, on a mesuré les températures de la roche dans le puits. On a trouvé:

	Profondeur	Température	Degré géothermique	Niveau géologique
1)	469 m	33°	19,5 m	*Lias:* au toit des schistes bitumineux à Posidonies
2)	602 m	42°	18,2 m	*Keuper:* dolomies au toit des lignites à 621 m
3)	888 m	47°	23,4 m	*Muschelkalk:* partie supérieure du sel gemme (884—950 m)

Le degré géothermique de 23,4 m. pour une profondeur de 888 m., calculé en tenant compte d'une température de 8,3° C. à la surface du sol, est extrêmement faible. Pour la profondeur de 469 m., ce sont les schistes bitumineux à Posidonies, et pour celle de 602 m., le lignite riche en pyrite

de l'horizon de Gouhenans, qui déterminent une élévation de température, c'est-à-dire une diminution de la valeur du degré géothermique. Pour la profondeur de 888 m., il faut prendre en considération l'influence du gisement de sel. En général les bancs de sel gemme, étant mauvais conducteurs de la chaleur, abaissent la température de leur toit en arrêtant la chaleur qui monte des couches sous-jacentes. Un autre refroidissement local s'y produit par la dissolution du sel dans l'eau du forage. Quoiqu'il n'ait malheureusement plus été possible de mesurer la température au mur du gisement de sel, il faut cependant admettre que le degré géothermique est extraordinairement bas, et que par conséquent dans la profondeur la température sera extraordinairement élevée. En admettant un degré géothermique de 23 m., nous devrions attendre à 1500 m. de profondeur une température de 65°.

De 1904 à 1907, une dizaine de sondages ont été poussés, dans le département de Meurthe et Moselle, jusqu'à 1000 et 1500 m. de profondeur, et partout où les charbons flambants et gras du Westphalien ont été rencontrés dans la profondeur, on y a constaté des anomalies analogues dans la hauteur de la température et dans l'abaissement de la valeur du degré géothermique. Pour la profondeur de 1500 m., nous trouvons les valeurs suivantes: Eply 69°, Atton 67° et Pont-à-Mousson 62°. A Ronchamp aussi, dans les trous de sonde à 1000 m. de profondeur, la température de la roche monte à 46°, et dans les galeries d'exploitation, profondes de 750 m., à 44,3°. — La valeur du degré géothermique atteint dans des sondages en terrain à peu près plat et dans des conditions normales, le chiffre de 30 m. environ, de sorte qu'on peut admettre les températures de roche suivantes:

à 1200 m. : 40° — à 1360 m. : 45° — à 1500 m. : 50°,

tandis que dans les sondages des districts houillers de Lorraine, les valeurs correspondantes sont:

à 1200 m. : 50° — à 1360 m. : 55° — à 1500 m. : 65°.

Or, c'est une élévation analogue et semblablement anormale de la température de la roche que nous constatons dans le sondage de Buix, puisqu'à environ 900 m., la température atteint au lieu de 30°, le chiffre de 48°, encore plus élevé qu'en Lorraine.

Il résulte de ces faits que, dans les sondages de Lorraine, ce sont les charbons flambants et gras des grandes profondeurs qui déterminent l'élévation anormale de la tempéra-

ture. On est par conséquent amené à admettre la même cause pour la faiblesse anormale du degré géothermique dans le sondage de Buix. En tout cas on est autorisé à se demander si la haute température mesurée dans le sondage de Buix ne serait pas l'indice que le grès rouge n'y a pas l'épaisseur redoutée et que les couches de charbons gras riches en gaz du Stéphanien ne sont pas très éloignées du fond de notre sondage.

Comme nous l'avons dit plus haut, la question capitale: „Y a-t-il ou non des gisements de charbon dans le sous-sol de l'Ajoie?“ n'a nullement été tranchée par notre sondage de Buix, poussé jusqu'à 1053 m. de profondeur. Il a laissé pendante la question de l'épaisseur du grès rouge et du Carbonifère supérieur stérile, formations qui séparent le fond du sondage des gisements de charbon présumés. Des analogies stratigraphiques, sans doute incertaines, font estimer leur puissance à 500 m., de sorte que le charbon se rencontrerait à environ 1500 m. de profondeur, avec une température de roche d'environ 65° C. La haute température de la roche, défavorable en soi, peut être interprétée comme un indice favorable à l'existence de la houille à une moindre profondeur.

Au sujet de la valeur pratique du charbon que l'on pourrait trouver à cette profondeur, nous rappelons d'une part que dans les estimations des réserves de charbon exploitable, on tient compte des gisements présumés jusqu'à 1500 m. de profondeur pour des couches d'une puissance d'un mètre au moins, et d'autre part que déjà en 1912 on a atteint avec les puits et les galeries d'exploitation des profondeurs de 1200 m. Quant aux profondeurs des couches de charbon dont la présence a été constatée par des sondages, nous rappelons les forages lorrains, ceux du bassin de Lyon et ceux de la Haute-Silésie où les couches de houille ont été traversées à des profondeurs de 1500, 1600 et 2150 m. Comme exemple d'exploitations à grandes profondeurs qui étaient rémunératrices en 1912 déjà, nous citons: Ronchamp, 1020 m., Ramsmine (Angleterre) 1050 m., Morgenstern III (Zwickau) 1082 m., Mine „Westphalen“, près d'Ahlen sur la Lippe, 1087 m., et enfin Mine „Produits“, près de Flénu (Belgique), 1200 m. Si, en fait, il y a lieu d'espérer que le sous-sol de l'Ajoie renferme des couches de houille, leur exploitation, nécessitant l'établissement de puits de 1500 m. environ, reste encore reculée dans un avenir assez éloigné.

V. Graphite.

L'anthracite, dont la teneur en carbone atteint 97%, n'est pas encore le terme final de la série de carbonisation (Inkohlungsreihe). Les combinaisons hydrocarburées, en s'appauvrissant de plus en plus en hydrogène et en oxygène, se rapprochent toujours davantage du carbone pur, dont le carbone dit amorphe et le graphite proprement dit sont deux états allotropiques. Leur origine organique est presque toujours démontrée par leur relation plus ou moins intime avec l'anthracite.

En Valais nous avons trouvé une substance graphitique que ses propriétés rapprochent du carbone amorphe, et qui est liée à l'anthracite partout où celui-ci a subi sa plus grande transformation. En outre, un „graphite" se trouve sous forme de lentilles dans des gneiss. On signale de tels gisements au SW. de Martigny, au-dessus du *Brocard*, ainsi qu'au NW. et au-dessus de *Branson* dans la vallée du Rhône, à l'altitude de 1100 m. Il est admissible qu'il s'agit dans ces deux cas d'un anthracite carbonifère métamorphosé au dernier degré, marquant les restes de synclinaux pincés dans les gneiss.

Dans les Grisons, au sud de *Roveredo* (Val Misox), on trouve le graphite à trois endroits du versant sud du Val Traversagna: 1° A l'issue du Val di Marco, les gneiss contiennent une couche de marbre dirigée NW—SE. et plongeant vers le NE. Au mur de ce marbre apparaît une couche triturée d'une masse graphitique de 30 cm. d'épaisseur, dans laquelle on a constaté une teneur de 6% de C. — 2° Au-dessous de Monte di Morera, les gneiss contiennent des couches graphitiques qu'on a essayé d'exploiter. — 3° Dans le Val Morera, un gneiss à grenats est graphitique et contient une couche de 60 cm. d'épaisseur formée par un graphite trituré.

Dans le Tessin, nous trouvons des gneiss à graphite sur le Monte Cenere et à l'ouest du lac de Lugano. Près de *Medeglia* sur le Cenere, on a fouillé dans le gneiss un gîte où le graphite, mêlé de quartz, forme des lentilles irrégulières atteignant 0,5 m. de diamètre. — En dessous de *Montagnola*, sur la rive orientale du bras d'Agno (lac de Lugano), près des maisons d'Orino, les gneiss, dirigés NNE. et plongeant vers l'ENE., deviennent graphiteux et pyriteux dans une zone de 100 à 150 m. de largeur. On y a fait des fouilles infructueuses.

2. Asphalte. — Pétrole. — Gaz naturels. — Schistes bitumineux.

Divers composés hydrocarburés à l'état solide, liquide ou gazeux: l'asphalte, les huiles minérales, les schistes bitumineux, les gaz naturels combustibles, constituent un groupe de matières minérales dont l'origine, comme celle de la houille, est attribuée à l'activité organique.

En Suisse nous trouvons des gisements de ces matières principalement dans le Jura occidental entre Aarau et Genève (voir Pl. II): ce sont surtout les calcaires de l'urgonien qui renferment de l'asphalte; la molasse reposant sur le Jurassique et le Crétacé est localement imprégnée de pétrole. — Sur le versant méridional des Alpes, nous trouvons, dans le Lias et le Trias. des schistes bitumineux. L'exploitation industrielle de ces matières est actuellement limitée aux schistes bitumineux du Tessin et surtout au „calcaire asphaltique“ du Val de Travers.

L'asphalte est l'unique substance minérale brute suisse dont l'exportation dépasse l'importation et qui ait acquis une certaine importance sur le marché mondial. La production mondiale totale de „l'asphalte naturel“ atteint environ 300 000 t.; près d'un sixième en est fourni par le Val de Travers.

I. Asphalte.

Le terme d'asphalte naturel désigne, dans l'industrie, des substances bitumineuses, à l'état solide ou visqueux, imprégnant des calcaires très intimement et par pénétration poreuse. Cette imprégnation asphaltique est en étroit rapport d'origine avec des pétroles, l'asphalte même étant le produit d'une altération superficielle d'hydrocarbures. C'est l'oxydation qui rend les pétroles liquides d'abord visqueux, puis solides. Des calcaires asphaltiques se rencontrent donc, chez nous aussi, dans les mêmes régions où l'on trouve des pétroles et des gaz naturels, c'est à dire dans le territoire de la vallée du Haut-Rhin au nord de Bâle et dans la „zone hydrocarburée du Jura“.

A. Dans l'Oligocène de la plaine du Haut-Rhin, des calcaires asphaltiques et des sables pétrolifères sont exploités à Lobsann et à Pechelbronn dans la Basse-Alsace. Plus près de la Suisse, dans la Haute-Alsace aux environs d'Altkirch, près de Hirsingen et de Hirzbach, on a constaté des grès pétrolifères à la base de l'oligocène moyen.

Dans le sondage d'*Allschwil près de Bâle*, dont il sera question plus tard, des calcaires éocènes à Planorbis pseudammonius, épais de 15 m., surmontent les argiles sidérolithiques. Ce calcaire est riche en fossiles, fissuré et caverneux. Dans trois zones, entre 302—303, 9, 305, 05—305, 15 et 305, 7—306, 0 m. de profondeur, il présente des imprégnations d'un bitume visqueux noir, dont la composition est la suivante: C = 85,86%, H = 11,00%, O + N = 1,94%, S = 1,20%. Ce bitume est donc identique aux asphaltes de la Trinité et du Val de Travers. Les conditions géologiques du gisement sont analogues à celles de Lobsann (Alsace).

B. Dans le Jura occidental, confinées à la région qu'on a nommée „zone hydrocarburée du Jura", nous trouvons des imprégnations d'asphalte dans le Crétacé (Urgonien et Aptien) et dans le Jurassique, notamment entre le Val de Travers (Canton de Neuchâtel) et Seyssel (Départ. de l'Ain).

1. Gisements crétaciques. La localité la plus importante est le *Val de Travers*, qui, entre Fleurier et Noiraigue, correspond à une vallée longitudinale typique. Dans le synclinal formé de couches jurassiques et crétaciques, reposent la molasse aquitanienne du Tertiaire et les dépôts glaciaires. Le Jurassique apparaît sur les hauteurs au N. et au S. de la vallée, le Crétacé le long de ses deux versants. Les imprégnations d'asphalte se rencontrent spécialement dans les calcaires à Caprotines de l'Urgonien supérieur et, en moindre quantité, dans les grès verts de l'Albien à la Presta et aux Oeuillons, à 2 km. à l'E. de Travers. Entre Travers et Couvet, l'Urgonien supérieur asphaltifère affleure près de Bois-de-Croix sur le versant N. et près de la Presta sur le versant S. de la vallée. Du fond du val, près de la Presta, la couche asphaltifère légèrement ondulée s'enfonce vers le S. sur une distance d'environ 1 km.; elle butte alors, le long d'un pli-faille, contre le calcaire jurassique de l'anticlinal du Crêt Mouron (chaîne du Chasseron). La couche d'asphalte peut être désignée comme un calcaire urgonien imprégné de

bitume. Cette imprégnation apparaît dans la partie supérieure du calcaire urgonien, épais d'environ 20 m., à la base des couches marneuses de l'Aptien. L'asphalte s'étend ainsi à la façon d'une couche assez régulière. L'épaisseur de la zone imprégnée oscille entre 2 et 8 m. et compte en moyenne 7 m. La partie la plus riche du gisement s'appelle „le bon banc", et la moins imprégnée „la Crappe"; elles finissent par se confondre; la crappe se trouve aussi bien au mur qu'au toit. Un profil typique montre par exemple la succession suivante des couches: une couche d'asphalte épaisse de 4 m. (Gros banc) repose sur les calcaires de l'Urgonien inférieur; au-dessus viennent 2 m. de calcaires imprégnés d'asphalte (la crappe), puis de nouveau une couche d'asphalte de 40—80 cm. d'épaisseur (Petit banc).

L'asphalte du Val de Travers est un calcaire imprégné très intimement de substances bitumineuses. On le nommerait plus exactement „calcaire asphaltique". La teneur en bitume de certains échantillons de calcaires asphaltiques de diverses provenances est la suivante: Val de Travers 10,15 %; Seyssel 11,8 %; Lobsann 12,3 %; Limmer (Hanovre) 14,3 %. Pour la composition des calcaires du Val de Travers et de Seyssel, nous trouvons par exemple:

	Val de Travers	Seyssel
$CaCO_3$	87,95	89,55
$MgCO_3$	0,30	0,10
SiO_2, etc.	1,15	0,45
H_2O	0,50	1,90
Bitume	10,10	8,00

L'analyse des éléments constitutifs du bitume de divers calcaires asphaltiques donne les valeurs comparées suivantes:

	Val de Travers	Sicile	la Trinité	Allschwil	Lobsann
C	88,40	84,95	85,89	85,86	86,60
H	10,40	11,34	11,06	11,00	11,40
O+N	0,10	0,30	0,56	1,94	0,70
S	1,10	3,69	2,49	1,20	1,40

Distillé à sec, le calcaire asphaltique de Travers livre à peu près 7% d'huiles minérales. Les fractions entre 90° et 250° ont un poids spécifique de 0,784 à 0,862 et se composent toutes de 87,5% de C et de 12,5% de H; ce sont donc des carbures acétyléniques de la formule $C_n H_{2n-2}$. La distillation fractionnée a donné, entre 120 et 150°, 2,2% de benzine; de 150° à 300°, 9% d'huile d'éclairage, et de 215° à 360°, sous une pression de 34 à 45 mm., 64% d'huile de graissage.

L'asphalte (terre de poix) du Val de Travers est exploité depuis le début du XVIIIme siècle. Jusqu'en 1812, on l'a extrait à ciel ouvert près de Bois-de-Croix sur le versant nord de la vallée, près de Travers; vers 1837, on commença l'exploitation sur le versant sud, près de la Presta, à ciel ouvert et en galeries. En 1867 et 1868, on pratiqua une série de sondages pour déterminer l'extension du gisement d'asphalte de la Presta, dont les dimensions furent trouvées de 475 m. de longueur sur 200 m. de largeur.

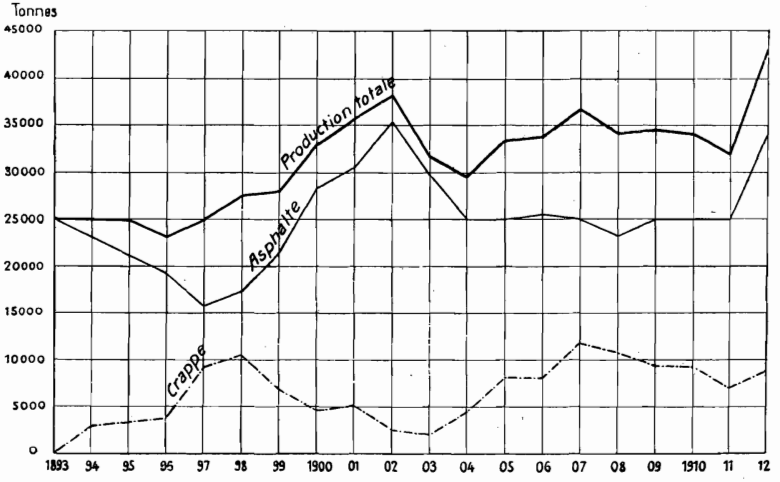
L'exploitation du gisement de la Presta par „la nouvelle Mine" date de 1871 environ. Le territoire de la mine sur le versant sud de la vallée mesure de l'Est à l'Ouest 1500 m. et du Nord au Sud 600 m., sous une surface d'environ 780 000 m². Les galeries descendent jusqu'à 65 m. au-dessous du thalweg, c'est-à-dire jusqu'à 100 m. au-dessous du sol. Elles suivent la couche d'asphalte en direction et plongent avec elle de 10° à 40°. Comme soutènement du toit, on laisse entre les galeries d'abattage des piliers de 18 m. sur 18 m. au moins. Les travaux se trouvant au-dessous du niveau de l'Areuse, les calcaires sont très aquifères. On a installé deux grosses pompes électriques, pouvant refouler chacune jusqu'au jour dix mètres cubes par minute. Jusqu'en 1914, la mine occupait à 200 ouvriers au maximum et la production journalière se montait au plus à 200 tonnes. Le produit de la mine est un calcaire imprégné de 6 à 12% de bitume. L'Asphalte proprement dit, avec 8 à 12% de bitume, est fourni par le „bon banc", les variétés moins riches en bitume sont la Crappe. La production de 1893 à 1912 est représentée par la Fig. 4. A l'exception de quelques fluctuations, la production annuelle montre une progression constante de 24,000 tonnes à 44,000 tonnes.

Comme, d'après le règlement de la concession, le banc d'asphalte doit être complètement exploité partout où il y a au moins 1,50 m. d'épaisseur et une teneur en bitume de

7%, la relation entre la production de „l'Asphalte“ et de „la Crappe“ subit des changements d'après la nature du gisement dans les différents chantiers de la mine. Le calcaire asphaltique de la mine est livré à la consommation soit à l'état naturel, soit après transformation. Cette substance est maintenant employée sous différentes formes uniquement aux travaux de confection de chaussées. La valeur de la production annuelle actuelle est estimée à 1,7 million de francs. L'exploitation totale atteint jusqu'à nos jours 2 millions de tonnes qui permettraient d'asphalter une surface de 25 km².

Fig. 4.

Production d'Asphalte de la mine du Val de Travers.



En dehors du Val de Travers, nous trouvons de l'asphalte sur la rive nord du *Lac de Neuchâtel*, le long du flanc sud de la chaîne du Chasseron, à *Auvernier*, *Bevaix* et *St. Aubin*. Les calcaires imprégnés appartiennent ici à l'Hauterivien supérieur et à l'Urgonien inférieur et supérieur. Près d'*Yverdon*, la présence de bitume est connue dans des fissures du calcaire hauterivien au *Mont Chamblon;* à *Goumoëns-le-Jux*, à *Valeyres-sous-Rances* et au *Mormont*, on rencontre l'asphalte visqueux dans le calcaire urgonien. — Plus à l'ouest, des imprégnations d'asphalte se rencontrent au bord du Jura, dans le *Pays de Gex*, à l'ouest du Léman, près de la fron-

tière suisse; au Crêt Mouret près de *Divonne*, ensuite près de *Villeneuve* et de *Thoiry*, au sud de Gex la Ville, on trouve dans des carrières le calcaire de l'Urgonien imprégné par places d'asphalte et de bitume visqueux.

Sur le flanc opposé de la chaîne du Reculet, s'étend entre *Bellegarde* et *Mijoux*, sur 40 km. de longueur, la vallée longitudinale de la Valserine, dont la structure tectonique est analogue à celle du Val de Travers. Ici aussi l'Urgonien est asphaltifère près de *Lélex*, *Chézery* et *Forens*. Sur le prolongement méridional de la même zone, nous trouvons des traces d'asphalte dans l'Urgonien aux environs de Bellegarde, et, à 10 km. plus au sud, dans le voisinage de Pyrimont, sur les deux rives du Rhône, se trouve l'importante mine de *Seyssel*. En amont de Pyrimont, près de *Challonges* et *Volland*, sur la rive orientale du Rhône, le calcaire urgonien en position horizontale contient sept lentilles superposées de calcaire asphaltique, renfermant jusqu'à 10% de bitume, et qui sont exploitées par un système compliqué de galeries. Au-dessus de Pyrimont, sur la rive occidentale du Rhône, l'urgonien asphaltifère est exploité en carrière. — La zone asphaltifère de l'Urgonien au pied du Jura se continue dans la Haute-Savoie, où l'on trouve, au pied sud de la montagne de Vuache, le gisement de *Mussiège* près de Frangy, tandis que celui de *Lovagny* et *Chavaroche* à l'ouest d'Annecy appartient encore à la chaîne du Salève.

2. Gisements jurassiques et triasiques. a) On a signalé du bitume dans le calcaire compact du Ptérocérien des carrières de *Soleure*. Il est intéressant de relater qu'on a constaté, dans le *tunnel de Granges*, à 1 km. du portail N., dans les calcaires portlandiens du flanc N. du Graitery, des suintements d'un goudron visqueux (Erdpech). Dans le rayon du Val de Travers, des imprégnations d'asphalte se trouvent également dans les calcaires à ciment du Bathonien près de *Noiraigue*. Dans le jurassique au Nord de Travers, on a signalé la présence de bitume: dans une tranchée de la route de *Couvet* à *la Brévine*, des fissures du calcaire argovien renferment un bitume liquide et au *Chable*, à 3 km. à l'est de cette route, la tradition mentionne une mine d'asphalte dans les mêmes calcaires. — Près *des Brenets*, on trouve dans des fissures du calcaire ptérocérien des *Pargots* un bitume visqueux. — Sur la route de Vallorbe à la vallée de Joux, près des „*Epoisats*“, une fissure, large de 2 m., dans le calcaire oolithique du Jurassique inférieur, contient une brèche

de calcaire, dont les morceaux anguleux sont cimentés par le bitume asphaltique. On a essayé de l'exploiter par puits; la brèche contenait jusqu'à 14 % de bitume. — Dans la région asphaltique de la vallée du Rhône près de Seyssel, les calcaires kimeridgiens sont imprégnés de bitume à *Orbagnoux*, *Corbonod* et *Anglefort* au sud de Pyrimont, et dans le Bugey au lac d'*Armaille* et à *St. Champ-Chatonod*, à l'ouest et au nord-est de *Belley*. Des exploitations se trouvent à Orbagnoux et dans le Bugey près de Belley.

b) Les terrains triasiques n'affleurent guère dans la „zone hydrocarburée du Jura". Les sondages récents aux environs d'*Ambérieu*, qui ont traversé les couches jurassiques et triasiques jusqu'au houiller, ont démontré que le Trias aussi renferme des bitumes. Dans le sondage de „*Torcieu*", à 5 km. au SE. d'Ambérieu (voir p. 44), on a trouvé à la profondeur de 450 m. le „grès bigarré" imprégné de goudron et d'asphalte, et dans celui de *Vaux*, à 5 km. au S. d'Ambérieu, on a rencontré dans le „Keuper" à la profondeur de 216 m. un horizon de pétrole, riche en gaz. Le Trias aux environs d'Ambérieu repose directement sur le stéphanien qui renferme des couches de houille.

II. Pétrole.

A. Par analogie avec la Bavière, l'Autriche et la Galicie, la présence du pétrole peut être présumée en Suisse en première ligne dans les terrains tertiaires du Plateau et du Jura. En effet, des traces de pétrole d'une certaine importance ne se trouvent que dans la molasse, au sein de la „zone hydrocarburée du Jura". Les imprégnations d'asphalte dans les calcaires mésozoïques et celles de pétrole dans les grès de la molasse sont restreintes à un seul et même territoire, c'est-à-dire à la zone d'environ 200 km. de longueur entre Aarau au NE. et Seyssel sur le Rhône au SW. (cf. Pl. II). Nous aurons à considérer successivement les territoires suivants: 1. Aarau-Murgental; 2. Val de Travers; 3. Yverdon-Orbe; 4. Dardagny près de Genève, et 5. hors de Suisse, la vallée de la Valserine et Pyrimont-Seyssel.

1. *Aarau-Murgental*. La „molasse d'eau douce inférieure" qui surmonte les calcaires du Jurassique supérieur se compose de calcaires d'eau douce et de grès de l'Oligocène inférieur (Stampien), et de grès et de marnes bigarrées de l'Oligocène supérieur (Aquitanien inférieur).

a) Près d'*Aarau*, le Stampien manque; les traces de pétrole apparaissent dans le „grès de Gönhard“ de l'aquitanien, à environ 50 m. au-dessus de la limite supérieure du Malm. Elles se trouvent au sud de la ville au *Distelberg* et au *Gönhard*, dans une zone de près d'un kilomètre de longueur. Elles sont traversées par la „galerie Gönhard“, longue de 750 m., sur un espace de 200 m. Dans le grès blanchâtre, plongeant d'environ 5° vers le S., il se trouve des bancs irréguliers de grès pétrolifères, épais au plus de 20 cm., d'un brun chocolat, dont la teneur en bitume a été trouvée égale au 1,1%.

b) Des deux côtés de l'Aar près de *Wynau*, de *Murgental* et de *Fulenbach*, la „Molasse d'eau douce inférieure“ se compose des deux étages du Stampien et de l'Aquitanien. Les sables pétrolifères se trouvent à 100—200 m. au-dessus du Stampien, c'est-à-dire dans la partie inférieure de l'Aquitanien inférieur, puissant d'environ 500 m., constitué par des grès et des marnes bigarrées. La molasse forme à cet endroit un anticlinal en forme de coupole, dont l'axe suit à peu près le cours de l'Aar et s'abaisse vers le NE. Sur une distance de 4 km. dans la direction du SW. au NE., des affleurements de sables pétrolifères ont été constatés à quatre points différents: 1) près de Rainacker, sur la rive gauche de l'Aar, à environ 700 m. au N. de Wynau, avec 30—40° de plongement NW.; 2) à environ 200 m. en amont du pont de Murgental, sur la rive gauche de l'Aar, avec un plongement de 5—10° E.; 3) à environ 200 m. en aval du même pont, sur la rive droite, avec un plongement de 8—10° SE.; 4) près de l'Aaretränke, à 1¼ km. de Fulenbach, près d'une ancienne carrière de pierres à la lisière de la forêt, à 200 m. à l'ouest de l'Aar, où l'on a fouillé sur une superficie d'environ 20,000 m² une couche, épaisse de 3 m., d'un grès pétrolifère, reposant sur une couche d'argile de 10 cm. d'épaisseur. Le prolongement de cette couche, plongeant de 13° vers le SE., a été constaté sur les deux rives de l'Aar. Pendant l'hiver 1917/18, on pratiqua quatre sondages à la main; le premier, sur la rive gauche, a traversé le mur du grès pétrolifère jusqu'à 41 m. de profondeur, tandis que les trois autres, de 23, 24 et 26 m. de profondeur, effectués sur la rive opposée, ont traversé à 9 m., 19 m. et 25 m. de profondeur, le grès pétrolifère de l'Aaretränke épais de 186, 116 et 117 cm. Notons que dans quelques fouilles à la lisière du bois près de l'Aaretränke, de même que dans le sondage II, on a trouvé du

pétrole liquide. — Les sables pétrolifères de Fulenbach contiennent 6—10% de calcaire, 88—80% de quartz et de silicate d'alumine, 2% de substances organiques et 4 à 8% de bitume soluble dans le benzol. L'huile brute obtenue par distillation a un poids spécifique de 0,9182 et se compose en moyenne de 86,56% de C., 11,56% de H. et de 1,88% d'O. La distillation fractionnée de deux échantillons a donné: jusqu'à 150°, 5,3—6,6% de benzine; entre 150 et 300°, 17,24—21,9% d'huile lampante; et au-dessus de 300° 44,7—53,2% d'huiles de graissage.

2. *Val de Travers.* Dans le Val de Travers, au-dessus de l'Urgonien asphaltifère s'étagent les marnes de l'Aptien, les sables verts de l'Albien et les marnes du Cénomanien, auxquelles succèdent des marnes et des grès de l'Aquitanien inférieur. Dans des marnes molassiques plongeant d'environ 10° vers le sud, qui recouvrent directement le crétacé. on a constaté, près de la tuilerie de *Couvet*, trois couches de sables pétrolifères, secs, d'un brun chocolat. La plus profonde est épaisse d'environ 2,5 m.; la seconde, à 50 cm. au-dessus, a 1,15 m. d'épaisseur, et la troisième, à 8 m. plus haut, n'a que 65 cm. Un échantillon de la couche la plus profonde et la plus fortement imprégnée contient 2,63% de bitume soluble dans le benzol.

3. La présence des sables pétrolifères dans la molasse d'eau douce inférieure près d'*Yverdon-Orbe* fit croire à un „bassin pétrolifère d'Orbe". Les localités où des „grès pétrolifères" ont été observés sont les suivantes: 1) *Onnens*, au bord du lac de Neuchâtel, à 8 km. au NE. d'Yverdon. 2) *Mathod*, à 6 km. à l'ouest d'Yverdon. 3) A 1 km. à l'ouest de la ville d'*Orbe*, sur la rive sud de l'Orbe. 4) Au sud de *Chavornay* le long du ruisseau du *Talent*. 5) A l'est de la gare d'*Eclépens*. — Les horizons gréseux de la Molasse renferment des bancs brun-foncé, ayant jusqu'à 1 m. d'épaisseur, imprégnés de pétrole. La teneur du grès en bitume liquide s'élève à 2—3%. Les grès pétrolifères sont situés à environ 150 m. au-dessus de l'Urgonien. En 1912, on pratiqua deux sondages au travers de la molasse avec sables pétrolifères près de Chavornay. Le forage méridional atteignit le sable pétrolifère du Talent à 42 m. de profondeur, l'urgonien à 195 m. et fut arrêté dans ce calcaire à la profondeur de 246 m.; le forage septentrional atteignit le crétacé également à la profondeur de 195 m. et fut continué jusqu'à 210 m. La molasse y était stérile. Le résultat négatif de ces deux son-

dages paraît être essentiellement lié à la faible épaisseur de la molasse, qu'on n'avait pas prévue; nous savons maintenant qu'il n'existe pas de „bassin pétrolifère“ dans la région Orbe-Chavornay.

4. A l'ouest de *Genève*, entre le Salève et le Jura, la molasse de l'Aquitanien est pétrolifère, surtout sur la rive droite du Rhône jusqu'au-delà de la frontière française, sur les territoires des communes de *Satigny*, *Russin* et *Dardagny*, couvrant une région de 30 km². — Sur la rive gauche du Rhône, la molasse bitumineuse est signalée près de *Bernex*. — En aval du confluent de l'Allondon, près de l'*usine Gardy*, au *Pont d'Avully* et au *Moulin de Bilet*, à la frontière suisse, la profonde entaille du Rhône a mis au jour les sables pétrolifères, au-dessous de puissants dépôts diluviens. — Au nord du Rhône, les principales localités de molasse pétrolifère sont les suivantes: 1) Directement au SE. de *Dardagny*, dans le lit du ruisseau des Charmilles, on constate, sur la longueur d'un kilomètre, des bancs de molasse faiblement imprégnés, plongeant de 4 à 8° vers le sud. Près de la frontière suisse, le long de la route conduisant à Challex, on rencontre la molasse décomposée fortement imprégnée. 2) La molasse bitumineuse a son extension la plus considérable dans le vallon de la *Roulavaz* et dans le *Nant Punais* au nord de Dardagny. Le *Nant Punais*, petit affluent de la Roulavaz, prend sa source dans le „Bois de Roulavaz“ à l'ouest de Dardagny. Au SW. de la grande route de Dardagny à St. Jean de Gosville, on observe la molasse imprégnée, plongeant de 30° vers le SE.; il en suinte de l'huile épaisse (poix minérale), que l'on peut récolter sur l'eau du petit ruisseau. En aval du confluent du Nant Punais, sur 1 km. de longueur, il se trouve dans la Gorge de la Roulavaz un affleurement à peu près continu de molasse bitumineuse. C'est surtout sur le bord sud, abrupt et haut de 50 m. environ, de la gorge arquée en demi-cercle vers le sud, que se trouvent les meilleurs bancs de molasse pétrolifère, que l'on a exploités en galeries. Une série de couches sableuses, fortement ou faiblement imprégnées de bitume, d'une épaisseur de 15 m. environ, est surmontée par 3 m. de grès et de marnes stériles, gris-brunâtre, sur lesquels s'étend une couche supérieure de molasse à bitume épaisse de 60 cm. Le profil se termine par une série de marnes et de grès en bancs minces. A la sortie du vallon de la Roulavaz dans le val de l'Allondon, la molasse affleurant sur les deux versants est stérile. 3) Dans le val

de l'Allondon, à 2,5 km. au nord de Dardagny, aux environs de Granges, des grès bitumineux plongent en général vers le nord. — La position de la molasse, plongeant au nord près de Granges, au sud près de Dardagny, indique la présence d'un large anticlinal, dont l'axe court du WSW. à l'ENE. — Le pétrole de la molasse de Dardagny se rencontre soit comme suintement de poix minérale, que l'on peut récolter sur l'eau du petit ruisseau du Nant punais dans le Bois de Roulavaz, soit comme infiltration dans le grès, du volume duquel il constitue le 10 à 20%.

On a analysé la poix minérale et l'on a trouvé:

1) Poids spécifique à 15° C. 0,956
2) Fractions par distillation de 0 à 241° C. . . 0%
de 241 à 300° C. . . 13,2%
de 300 à 325° C. . . 47,2%

La décomposition commence à 325°.

3) Composition élémentaire

C	H	O+N	S
85,8%	11,4%	2,3	0,5

Ce goudron est ainsi tout à fait semblable pour sa teneur en C. et en H. à celui de la Trinité. (V. p. 118.)

Le sable pétrolifère de Dardagny se compose de:

Ca CO3 . . .	10,0 %
Quartz et silicates . .	80,0 ,,
Substance organique .	2,5 ,,
H2 0	1,0 ,,
Bitume	6,5 ,,

Le bitume, soluble dans le benzol, atteint le 4 à 8% du poids du grès, soit le 10 à 20% de son volume. L'huile minérale est brun-foncé et visqueuse. Son poids spécifique est de 0,905.

La fraction par distillation a donné:

de 80 à 150°	2,5 %
de 150 à 250°	9,5 ,,
de 250 à 300°	12,0 ,,
de 300 à 350°	30,0 ,,
Résidu	46,0

La teneur en paraffine est de 13%.

Pour la composition élémentaire, on a trouvé:

	C.	H.	O+N+S
Dardagny . . .	87,2	12,2	0,6
La Plaine . .	87,0	11,5	1,5

On voit que le goudron (poix minérale) du Nant punais est beaucoup moins riche en éléments volatils légers que l'huile brute obtenue par la distillation du sable pétrolifère. Le bitume de l'asphalte de Travers ne diffère pas essentiellement de celui du Nant punais et de Dardagny-La Plaine au point de vue de sa composition élémentaire. Par contre, les produits de la distillation fractionnée, comme le montre le tableau suivant, sont essentiellement différents dans les trois gisements:

Fraction de distillation:	Val de Travers	Dardagny	Nant Punais
au-dessous de 150° . .	2,2 %	2,5 %	—
de 150° à 300° . . .	9,0 %	21,5 %	13,0 %
au-dessus du 300° . .	64,0 %	30,0 %	47,0 %

L'utilisation industrielle des sables bitumineux des environs de *Dardagny* fut prise en considération, pour la première fois, en 1770. De 1836 à 1839, on obtenait à Dardagny, par la cuisson du grès bitumineux, un „goudron" liquide, employé pour des travaux d'asphaltage à Genève. Les affleurements furent étudiés d'une façon approfondie de 1868 à 1877 et donnèrent lieu à toute une série de rapports; c'est alors qu'on entreprit les travaux de „Granges" sur le versant E. du vallon de l'Allondon. Quelques puits et galeries furent exécutés en 1879 dans le vallon de la Roulavaz, au N. de Dardagny; du bitume fut obtenu à cet endroit jusqu'en 1881. On pratiqua des forages de 1888 à 1889 à l'Usine Gardy, près de la Plaine, sur la rive droite du Rhône (profondeur 124 m.), et vers le petit pont qui traverse l'Allondon près de Granges (profondeur 137 m.). Plus tard, en 1898 99, six sondages furent pratiqués sur la rive droite du Rhône près de La Plaine, vers le confluent de l'Allondon. — Actuellement la concession de Dardagny est accordée et l'on travaille un peu dans les galeries de la Roulavaz.

D'après les données des anciens sondages, il ne paraît pas impossible d'atteindre du pétrole liquide par des forages dans la région de Dardagny. D'autre part on peut s'attendre avec certitude à ce que, à une profondeur relativement faible, la teneur en pétrole des grès soit fortement supérieure à celle des couches observées près de la surface. Il va de soi qu'à Dardagny il faut tout d'abord atteindre par des puits les

grès pétrolifères à une profondeur de 120—150 m.; on verra ensuite à les exploiter à ce niveau au moyen de galeries.

Nous rappelons que depuis peu, à Pechelbronn en Alsace, on exploite au moyen de galeries, entre 150 et 220 m. de profondeur, le pétrole des grès, dont la teneur en bitume s'élève à environ 20% (volume). La quantité de pétrole obtenue dans les galeries est presque égale à celle qu'on tire des trous de sonde.

A l'ouest de la chaîne du *Reculet*, dans le synclinal de la vallée de la *Valserine*, et dans la vallée du *Rhône* au sud-ouest du mont Vuache, le tertiaire reposant sur les calcaires mésozoïques, se compose des sables de l'éocène moyen, qui servent de base à des marnes de l'Aquitanien et à la molasse marine du Burdigalien. Dans le vallon de la Mantière au N. de Bellegarde, au-dessus du village de *Confort* près de Boge, sur le flanc ouest du Credo, il existe un lambeau de sables éocènes que le bitume imprègne très régulièrement, en suintant parfois à l'état liquide de certaines fissures, et qu'on a exploités comme asphalte. En 1893, on est parti en travers banc de ces sables éocènes pour s'enfoncer dans la montagne. Après avoir traversé des grès verts de l'Albien, on a atteint le calcaire urgonien, qu'on a trouvé asphaltique.

Les calcaires urgoniens de la mine de *Challonges-Volland* près de Seyssel sont recouverts par une série de dépôts tertiaires: sables éocènes; conglomérats, sables et marnes de l'Aquitanien; molasse marine du Burdigalien. Ce tertiaire est imprégné de bitume, et ce sont surtout les sables qui sont pétrolifères. Leur contenance constatée en bitume soluble dans le benzol s'élève à 4,87 %.

B. En dehors de la „zone hydrocarburée du Jura", les traces de pétrole en Suisse sont très rares. On n'en trouve point dans les vastes régions molassiques du Plateau. On peut en mentionner quelques gisements isolés dans les Alpes.

Dans la région de la *Potersalp*, au pied N. du Säntis, des imprégnations d'huile minérale ont été observées dans des grès molassiques verdâtres qui se trouvent dans la continuation NE. des gisements de houille de Rufi (Cf. p. 34). — Les calcaires hauteriviens (Kieselkalke) de la chaîne bordière du Lac des Quatre-Cantons renferment dans des cavités et des fissures du pétrole liquide. On en trouve surtout dans les carrières de *Lopperberg* au Pilate et de *Seewen Schwyz*. — Dans les Alpes fribourgeoises, au sud du Lac Noir, au *Neuschelspass*, les calcaires bréchiformes du Malm, le long

d'une faille, sont riches en cavités remplies de pétrole, et plus à l'ouest on a signalé des traces de pétrole dans les calcaires du jurassique inférieur au SSE. de *Charmey* à l'E. de Bulle. — Les schistes à anthracite du *Bifertengrätli* au NE. du Tödi (V. p. 79/80) présentent des suintements de pétrole au lieu dit „Oelplanggen".

III. Gaz Naturels.

Les émanations de gaz naturels, dont nous trouvons des exemples en Suisse, se composent soit de carbures d'hydrogène combustibles, soit d'acide carbonique (Mofettes).

A. Les dégagements de carbures d'hydrogène combustibles sont liés: 1° aux gisements de pétrole et d'asphalte, 2° aux couches de houilles grasses, 3° à des gisements de sel gemme, et 4° à des marais.

1° On peut s'attendre à trouver des émanations de gaz inflammables tout d'abord en relation avec les gisements d'asphalte et de pétrole de la „zone hydrocarburée du Jura".

a) Une source de gaz inflammable est connue depuis le commencement du XIXe siècle près de *Cuarny*, à 20 km. au SE. d'*Yverdon*. Lors de sondages pour la recherche d'eau, on a trouvé une source d'eau sulfureuse très forte, qui était dans un état continuel d'effervescence. Un trou de sonde pratiqué en ce lieu a laissé échapper un courant continu de gaz inflammable. Déjà en 1840 on écrivit: „Depuis plus de 30 ans, ce gaz éclairant attend des esprits éclairés pour en tirer parti."

Sur la bordure du Jura entre La Sarraz, Orbe, Yverdon et Concise, les calcaires crétaciques sont recouverts par la molasse du Tertiaire, et au milieu du Tertiaire surgissent des lambeaux de calcaires crétaciques, à l'est du Mormont près de Goumoëns-le-Jux, au Mont Chamblon près d'Yverdon et à Chevressy à l'est d'Yverdon. Au *Mormont*, à *Goumoëns-le-Jux*, à *Orbe*, au *Mont Chamblon*, à *Chevressy* une mince couche de sidérolithique repose sur le Crétacé. Des calcaires d'eau douce éocènes ont été constatés à l'est d'Orbe.

L'aquitanien, au sud du Lac de Neuchâtel entre Yverdon et Yvonand, se compose d'une série de marnes rouges et de grès d'une épaisseur de 250 m. environ, qui est divisée en deux parties à peu près égales par des couches de calcaires

d'eau douce bitumineux. Vers le sud, l'aquitanien est recouvert par les grès de la molasse marine (Burdigalien).

Les sables pétrolifères que l'on trouve dans l'aquitanien à l'ouest d'Yverdon, manquent dans la molasse aux environs de Cuarny. Le gaz de Cuarny sort des marnes de l'aquitanien à la base des calcaires d'eau douce. — L'urgonien de Chevressy indique dans la molasse à l'est d'Yverdon la présence d'un anticlinal, qui se poursuit vers le nordest en passant par Cuarny. Près de Cuarny le flanc sud de l'anticlinal est fortement redressé et la source de gaz, près „*La Minnaz*", à 1 km. à l'est de Cuarny, sort des marnes horizontales du faîte de l'anticlinal. Les nouveaux creusages ont établi qu'un puits y avait été pratiqué il y a plusieurs années, au travers d'environ 3 m. d'éboulis et de 2 m. de molasse. Au fond de ce puits, un ancien sondage fut mis à découvert. Ce trou de sonde dont le diamètre était de 5 cm. fut constaté avec une longue barre à mine jusqu'à la profondeur de 3 m. De l'eau sulfatée alcaline d'un débit de $^1/_2$ l. p. min., chargée du gaz inflammable sortait du trou de sondage, donc à la profondeur de 8 m. au moins.

L'analyse du gaz montre qu'il se compose de CH_4 (méthane) pour 97,5 % et de CO_2 (acide carbonique) pour 2,5 %. Le gaz de Cuarny est donc identique à celui de Wels en Autriche, par ex. Le débit de notre source de gaz, qui a pu être déterminé, s'élève à 4,42 l. par seconde, ce qui représente 16 m^3 par heure, ou 140,000 m^3 par an. — La minéralisation de la „Source thermale sulfureuse" d'Yverdon peut fort bien être en relation avec cette apparition gazeuse de Cuarny sortant de la „Molasse rouge". On peut considérer l'eau d'Yverdon comme une dilution de l'eau de Cuarny par les eaux superficielles.

Près de *Grandcour* au N. de Payerne, on mentionne une deuxième apparition de gaz dans la molasse de la rive SE. du Lac de Neuchâtel.

b) A l'ouest d'*Orbe*, l'Urgonien en position horizontale, que recouvrent le sidérolithique et des sables pétrolifères tertiaires, est traversé par la gorge profonde de l'Orbe. A 2 km. de la ville, non loin de l'affleurement des sables pétrolifères, on observe, à la surface de l'eau limpide et lente, de vifs dégagements de gaz amoncelés à plusieurs endroits. Le gaz, facilement inflammable, est inodore. On est tenté de le considérer non pas comme du „gaz de marais", mais d'admettre

qu'il provient de l'Urgonien, et qu'il est ainsi en relation génétique avec des gisements d'asphalte de l'Urgonien.

c) En dehors de la zone hydrocarburée du Jura proprement dite, nous mentionnerons encore dans les Alpes calcaires françaises deux localités où se produisent des dégagements de gaz naturels, provenant, il est vrai, plutôt de houilles grasses que de gisements de pétrole ou d'asphalte.

1° Au *col de Châtillon*, entre *Cluses* dans la vallée de l'Arve au sud, et *Taninges* dans la vallée du Giffre au nord, des dégagements de gaz combustibles ont été découverts vers 1858. Ces gaz sortent de Flysch, à l'endroit où il renferme un lambeau de gypse triasique. On admet que ce gaz provient du terrain houiller de Taninges. 2° A 25 km. au sud de *Grenoble*, sur la rive gauche de la Gresse, affluent du Drac, la *Fontaine ardente de St-Barthélémy*, source de gaz contenant 98,81 % de méthane, sort des schistes à posidonies calloviens. Ici aussi on a admis comme provenance du gaz des houilles, comme on les trouve à La Mure, à 10 km. à l'Est (voir p. 43). — Les gaz du col de Châtillon et de la Fontaine Ardente seraient donc à coordonner avec le gaz qui sort du sondage de Vaux (v. p. 122).

*
* *

Ayant étudié en détail l'asphalte, le pétrole et les gaz naturels du Jura occidental, nous pouvons maintenant dégager les constatations générales qui nous amènent à admettre l'origine adventive des hydrocarbures du Jura.

Sur notre Planche II, l'extension et la situation de la „zone hydrocarburée du Jura", en Suisse et dans la France voisine, sont marquées par l'indication des localités où l'on constate l'infiltration bitumineuse. En nous bornant aux gisements les plus importants, nous trouvons la distribution suivante: 1) *Sables pétrolifères*, soit dans l'Aquitanien (molasse d'eau douce inférieure) à Aarau, à Murgental, au Val de Travers, près d'Yverdon-Orbe, à Dardagny près de Genève et à Challonges-Volland près de Seyssel, soit dans l'Eocène à Boge près de Confort au Nord de Bellegarde et à Challonges-Volland. — 2) *Asphalte* dans l'Urgonien au Val de Travers, au bord du Lac de Neuchâtel, au Mormont, à Divonne et près de Gex-la-Ville, près de Chézery dans la vallée de la Valserine, à Pyrimont près de Seyssel, à Mussiège près de Frangy et enfin à Lovagny-Chavaroche à l'ouest d'Annecy. —

3) *Bitume et Asphalte*, soit dans le jurassique supérieur au Chable au nord de Travers, à Pargots près des Brenets, à Orbagnoux au nord de Seyssel et près de Belley dans le Bugey, soit dans le jurassique inférieur à Noiraigue à l'est de Travers et aux Epoisats près de Vallorbes. – 4) *Asphalte. Pétrole et Gaz* dans les forages de Torcieu et de Vaux près d'Ambérieu. — 5) *Gaz Naturels avec Source Sulfureuse* à Cuarny près d'Yverdon.

Nous constatons d'une façon générale ce qui suit: l'imprégnation asphaltique est limitée à des calcaires; le pétrole se trouve dans des grès sableux; des schistes marno-calcaires sont bitumineux. D'une part, on a admis que toutes ces imprégnations bitumineuses étaient d'origine primaire, contemporaines de la formation des sédiments qui les renferment; d'autre part, tous les faits exposés ici nous amènent au contraire à admettre pour la plupart des cas une origine adventive des hydrocarbures, dont le siège de formation primaire doit être plus profond. Sur une même zone, bien limitée, ces imprégnations secondaires, provenant d'une source abyssale, se sont ainsi, par une remise en mouvement ascensionnel, déposées tantôt dans le tertiaire, tantôt dans le crétacé, tantôt dans le jurassique, et aussi dans le triasique, là où ce terrain est superposé directement aux couches de houille grasses du stéphanien. En effet nous voyons que l'extension géographique des imprégnations d'hydrocarbures coïncide avec la région où nous sommes autorisés à présumer l'existence de carbonifère productif dans la profondeur (V. Pl. II). Le pétrole dans la molasse, l'asphalte dans les calcaires urgoniens, le bitume dans les schistes kimmeridgiens, ainsi que le gaz de „Cuarny“ et de la „Fontaine Ardente de St-Barthélémy“, seraient donc des dérivés des houilles grasses en profondeur, comme nous les connaissons dans les bassins houillers qui entourent à l'ouest notre „zone hydrocarburée du Jura“.

*
* *

2° Des gaz inflammables, qui, dans les mines de *houille*, constituent le grisou, ont été constatés en Suisse comme produit de décomposition des houilles (Pechkohle) de la molasse. Il en faut citer trois exemples:

a) A 5 km. au NE. de *St-Gall*, dans la galerie, longue de 2207 m., de la „Wasserkraftanlage an der *Goldach*“ (V. p. 34), on a trouvé à 890 m. du portail sud une couche

de houille de 2 m. de puissance, au mur de laquelle, à près de 790 m. du portail sud, a jailli une forte émanation de gaz inflammable qui a considérablement retardé les travaux du percement.

b) Le *tunnel du Ricken,* long de 8604 m., entre Kaltbrunn et Wattwil, traverse la molasse d'eau douce inférieure. Ayant une direction N 30° E, le tunnel coupe les couches de la molasse, dirigées N 60° E, sous un angle de 30° environ. A partir de l'entrée nord jusqu'au km. 3,500, le tunnel traverse les grès des „couches de Bildhaus", qui plongent régulièrement de 35—50° vers le NW., et où apparaissent des couches de houille à 1210 et à 2100 m. de l'entrée N. (V. p. 35). A partir du sud pendant 5,1 km., le tunnel traverse les „couches d'Ebnat" sous-jacentes aux couches de Bildhaus. Ces couches d'Ebnat se composent principalement d'un grès calcaire, alternant avec des bancs de grès marneux jaunâtres et de marnes rouges. Au mur des grès de Bildhaus plongeant au NW., les couches d'Ebnat présentent, du km. 3,5 jusqu'au km. 4,2 à partir du portail nord, un plongement normal vers le NW., en se redressant de plus en plus, jusqu'à une inclinaison de 60°. Ces couches forment le flanc N. d'un anticlinal. Dans la partie sud du tunnel, entre le km. 2,8 et le km. 3,8 à partir du portail sud, les grès calcaires et les marnes des couches d'Ebnat plongent au contraire vers le SE., formant le flanc sud fortement redressé de l'anticlinal. Sur le parcours de 600 m. séparant le km. 4,2 (à partir du portail N.) du km. 3,8 (à partir du portail sud), la position des couches dans le noyau de l'anticlinal est extrêmement compliquée. Les couches sont en général très redressées, plongeant tantôt au N., tantôt au S.; les marnes et les grès. qui alternent à plusieurs reprises, chevauchent les uns sur les autres. — Sur le parcours entre le km. 2,8 et le km. 0,8 du portail sud, les couches d'Ebnat sont fortement inclinées, plongeant vers le SE. ou le NW. Sur les 800 premiers mètres du tunnel, elles forment de nouveau un anticlinal très net. — A l'intérieur de la grande zone anticlinale entre le km. 3,860 (N.), où les couches d'Ebnat plongent au NW., et le km. 3,145 (S.) où elles plongent au SE., les fissures de la roche ont livré passage en plusieurs endroits sur 1600 m. de longueur à des dégagements de grisou. De même, des émanations de gaz furent observées dans le noyau du petit anticlinal traversé sur les 800 premiers mètres du côté sud. Les bulletins mensuels des C. F. F. contiennent des données dé-

taillées sur les dégagements de gaz observés pendant la construction du tunnel. La première rencontre de grisou eut lieu au début de décembre 1904, dans le noyau du premier petit anticlinal des couches d'Ebnat, entre 470 et 530 m. (S.), en pratiquant la galerie de faîte. Mais les émanations de grisou les plus importantes, et de beaucoup, apparurent dans le noyau de l'anticlinal principal, à partir du 9 septembre 1906. Voici les principales constatations faites:

I. Côté nord. Le 13 novembre 1906, au km. 3,876, dans des couches d'Ebnat plongeant de 50° au NW., on rencontra le premier dégagement de grisou, qui fit explosion au contact des lampes à flamme libre. Au km. 3,980 apparurent de nouveau de faibles émanations de grisou, ainsi qu'au km. 4,002, le 15 janvier 1907. Le 9 mars 1907, au km. 4,141, à 42 m. en arrière de l'avancement, en élargissant la galerie de direction, on ouvrit dans la paroi orientale une fente, où le grisou jaillit des marnes des couches d'Ebnat. Le gaz, dont la flamme atteignait près d'un mètre de longueur, dégageait une chaleur telle qu'on fut forcé de suspendre définitivement les travaux d'avancement à 4,204 km. de l'entrée nord, c'est-à-dire à 4,400 km. de l'entrée sud. L'émanation de gaz persista en diminuant constamment d'intensité.

II. Côté sud. Le 9 septembre 1906, au km. 3,145, de faibles dégagements de grisou se manifestèrent à la paroi occidentale de la galerie; ils se poursuivirent le long d'une fente courant N 30° E, parallèlement à la direction de la marne, et furent ainsi de nouveau rencontrés au km. 3,160 à la paroi orientale. Le 7 janvier 1907, au km. 3,509 jaillit du grisou, et d'autres fentes dégageant du gaz furent coupées aux points 3590, 3607, 3671 et 3778 m. Le dégagement du point 3590 resta constant. Le 28 mars 1907, au point 3799, l'avancement fit jaillir du grisou dont la flamme avait $1^1/_2$ m^2 de surface. Le débit du dégagement fut évalué à 7—8 litres par seconde. Il fallut interrompre l'avancement. Le tunnel dut être bouché entre 3708 et 2720 m. par une paroi de terre jusqu'à ce que le grisou s'éteignît. Ce n'est que le 22 octobre 1907, après 7 mois d'interruption, que l'avancement put être repris. Le 20 novembre, une nouvelle source de gaz, d'un débit évalué à 1,2 litres par seconde, fut rencontrée au km. 3,899. C'est le 16 février 1908, au km. 4,198, que jaillit le dernier dégagement de grisou, qui s'élevait au début à 38 litres-seconde, mais qui, le 18 février, était déjà épuisé. Le percement s'effectua le 30 mars 1908, au km. 4,400 (S.) et

4,204 (N.). — Les dégagements de gaz se sont ainsi produits sur un parcours de 1600 m. (Au S., du km. 3,145 au km. 4,400 = 1255 m.; au nord: du km. 3,860 au km. 4,204 = 344 m.) Dans la partie centrale du noyau de l'anticlinal, ils se sont montrés constants. Au km. 3,800 (S.) le gaz rencontré le 28 mars 1907 brûle encore maintenant, de même que deux „soufflards", ouverts par les travaux d'agrandissement aux km. 4,382 et 4,388 (N.).

La composition des gaz, analysés en 1907 dans le laboratoire fédéral d'essais de combustibles à Zurich est en moyenne la suivante:

CH^4 (méthane)	11	vol. %
O (oxygène)	18	„
N (nitrogène)	71	„ %

Des gaz de grisou d'une composition identique ont été constatés par exemple dans les mines de houille des environs de Dortmund.

On ne saurait guère douter que les gaz du tunnel du Ricken n'aient leur origine dans les houilles de la formation molassique. A ce sujet, nous remarquons que de vraies couches de houilles n'apparaissent pas dans les couches d'Ebnat qui produisent du gaz, mais dans les couches de Bildhaus de leur toit [km. 1,210 et 2,100 (N)] (V. p. 35). Les grès des couches d'Ebnat contiennent très souvent des intercalations charbonneuses de même que des restes de feuilles et de tiges. De minces lits de lignite liés à des calcaires fétides ont été constatés dans les couches d'Ebnat à Kaltbrunn, dans le lit du Dorfbach, non loin du tunnel. Un charbon trouvé dans les couches d'Ebnat du tunnel au km. 2,5 (S.) a été analysé et trouvé semblable à celui des couches de Bildhaus. Il contient 5,8% de cendres et son pouvoir calorifique est de 6806 cal. kg.; le combustible exempt de cendres et asséché se compose de: C = 80,5%, H = 5,3%, O + N = 12,2 % et S = 2,0%. Quant à la position géologique du charbon qui aurait fourni le grisou des deux anticlinaux redressés des couches d'Ebnat du tunnel du Ricken, il est évident qu'il n'appartient pas à la zone qui renferme les charbons riches en gaz de Rufi près de Schaenis, mais plutôt à la zone plus septentrionale dans laquelle on a trouvé des couches de houilles au NE. du Ricken, dans le canton d'Appenzell (Bachloch et Engenhütten) et près de St.-Gall (Schaugentobel et Sturzenegg) (V. pp. 33, 34).

c) Dans les mines de *Semsales* on trouve des émanations de grisou dans le filon I à Froumi. Le filon I, épais de 20 à 40 cm. et plongeant de 40° au SE., a été attaqué par un puits à la profondeur de 30 m. et suivi vers le nord-est. (V. p. 30.) A cause de ces émanations de grisou, on est forcé d'y employer des lampes de sûreté.

3° Dans des Mines de sel on rencontre parfois des émanations de gaz qu'on a même utilisées pour l'éclairage.

a) Dans les mines de sel de *Bex*, une flamme de gaz naturel sortant des calcaires liasiques brûla de mai 1818 jusqu'en 1854. En 1869, on creusa à partir du niveau le plus bas de la galerie du Bouillet le „puits de la Tranchée", qui traversa sur 100 m. le roc salé et du fond duquel on poussa quatre galeries. Des émanations de gaz apparurent dans trois de celles-ci. Ces gaz furent captés et employés pour l'éclairage de la mine. Des apparitions tout à fait analogues s'observent par exemple dans les salines de *Slatina* en Hongrie.

b) On rapporte que vers 1840, on aperçut de la Promenade des „Grand'places" à Fribourg, une flamme de gaz brûlant dans le *Burgerwald*, au-dessus du village de St-Sylvestre, à une distance de 10 km. Cette apparition fut ardemment étudiée et discutée de 1840 à 1853 et même encore en 1870. Une couche de gypse triasique apparaît ici à la limite du Flysch alpin, d'âge tertiaire ancien, et de la Molasse subalpine; ce gypse appartient à la zone salifère de Bex-Lac de Thoune. L'émanation de gaz du Burgerwald est donc d'une certaine analogie avec celles des salines de Bex.

4° Sous le nom de gaz des marais (Sumpfgas), on désigne des gaz combustibles qui se dégagent de dépôts pleistocènes et qui proviennent de la fermentation de la cellulose. Leur élément constitutif essentiel est la méthane (CH_4). Ces gaz qui proviennent de dépôts récents et superficiels ont certains rapports avec les gaz combustibles liés aux gisements de houille ou d'huile minérale.

a) Dans le delta du vieux Rhin, en amont du lac de Constance, près d'*Altenrhein*, se trouvent des accumulations de gaz inflammable dans les argiles sableuses de l'alluvion du Rhin, limitées à la profondeur de 18 à 22 m. On a découvert le gaz en 1894 en forant un puits pour trouver de l'eau; en 1917, le gaz a été de nouveau constaté à la même profondeur par trois sondages à *Altenrhein* et par un sondage à *Rüti*, à 800 m. à l'est d'Altenrhein, tandis que près de *Dreiweg*, à 300 m. au nord de Rüti, les alluvions ne conte-

naient pas de gaz. — Au fond de la baie peu profonde du lac de Constance, près de *Wasserburg*, à l'ouest de Lindau, on a récolté du „gaz de marais“ contenant 42—70% de CH^4, 55—20% de N et 3—10% de H.

b) Dans le lac de *Lowerz*, on a depuis longtemps constaté plusieurs exhalaisons de gaz combustible. Ces sources, particulièrement visibles quand le lac est gelé ou quand sa surface est tout à fait calme, sont situées dans une zone étroite, longue d'environ 1 km., s'étendant du WSW. à l'ENE. entre l'île de Schwanau et l'embouchure du Schornobächli. On a également observé des bulles de gaz dans le delta de la Steineraa. Ce qui est très remarquable, c'est que la ligne des sources à travers le lac est exactement parallèle à la direction de la crête des calcaires nummulitiques très redressés, qui forment l'éperon rocheux de Schornen et l'île de Schwanau. Sur ce parcours, le fond du lac est assez plat et atteint une profondeur de 8 à 10 m. — L'analyse du gaz a donné une teneur en CH_4 de 85 à 88%, et en N. de 10 à 8%. L'origine du gaz n'est nullement précisée par sa composition chimique, car la même proportion de CH_4 et de N. peut se présenter aussi bien dans les gaz de marais que dans les gaz provenant de houille ou même d'huile minérale. Quoiqu'on penche au premier abord à admettre qu'on se trouve en présence d'un gaz de marais, cependant la coïncidence des sources de gaz avec une ligne géotectonique parle en faveur d'une origine abyssale, et de plus nous rappelons que les „Kieselkalke“ de l'Hauterivien contiennent du pétrole liquide à Zingel, à 1 km. environ à l'est de la zone du gaz (V. p. 121).

c) Lorsque le niveau du *Lac des Brenets* est le plus bas, le fond est mis à sec et la couche de glace, en hiver, repose alors directement sur le fond vaseux du lac. On a observé en trois points déterminés des „sources de glace“ formant des ouvertures d'environ 1 m. de diamètre dans la glace. Du gaz sort continuellement de l'eau des sources; il brûle avec une flamme de 30—40 cm. de haut. — Quant à l'origine de ces gaz, la même question se présente ici qu'à Lowerz. Si d'un côté l'on considère la décomposition des débris organiques de l'alluvion limoneuse comme l'origine du gaz, d'un autre côté on peut, ici aussi, en chercher la source plus profond, en rappelant la présence de l'asphalte dans les calcaires du sous-sol (V. p. 128).

B. Les émanations gazeuses dont le composant principal est CO^2, sont appelées Mofettes. En Suisse, où manquent les

phénomènes volcaniques, ces apparitions ne peuvent être liées qu'à des sources thermales. Dans la région des sources minérales de *Schuls-Tarasp*, dans la Basse-Engadine, apparaissent des mofettes avec hydrogène sulfuré. La mofette la plus importante émettant de l'acide carbonique est celle de „Cattüra Felix" à l'W. de Schuls le long de la route qui conduit à Fetan; son débit est estimé à 11,000 m^3 par jour. Des travaux de découverte exécutés en 1894—95 et en 1898 n'eurent pas de résultats pratiques.

IV. Schistes Bitumineux.

Les schistes bitumineux (pyroschistes et naphtoschistes) sont des sédiments marno-calcaires, noirs, clivables et d'une odeur caractéristique, qui donnent par la distillation une huile minérale analogue au pétrole. Les schistes bitumineux sont dans la règle des dépôts originels; le bitume n'y est pas adventif comme le pétrole dans les sables ou l'asphalte dans les calcaires. Les matières premières du bitume seraient les „Sapropèles", accumulations de végétaux microscopiques, qui, avec des cadavres d'animaux et leurs excréments, forment des boues de putréfaction (Faulschlamm).

A. Dans le Wurtemberg, dans le Jura suisse et aussi en Bourgogne, les Schistes bitumineux à Posidonies du Lias supérieur constituent un horizon très constant. Dans la région de Boll et de Reutlingen en Wurtemberg, on a exploité les schistes pour les distiller. En chauffant les schistes de Reutlingen jusqu'à 300°, on a obtenu du bitume soluble dans le benzol formant le 4° o du volume et présentant la composition élémentaire suivante: C = 80,77°/o; H = 11,10°/o; N = 1,32° o; S = 1,13° o et O = 5,68° o. — En Suisse, les schistes à Posidonies n'ont jamais été exploités. On les a trouvés fortement bitumineux — 8°/o — dans l'ancien tunnel du Hauenstein lors de l'incendie de mai 1857, dans le puits à 1 km. du portail sud. — Dans le sondage de Buix (v. p. 111), les schistes à Posidonies ont été constatés entre 473 et 485 m. de profondeur, et leur contenu en huile minérale fut trouvé de 1° o environ.

B. Les sédiments du Lias et du Trias des Alpes orientales et méridionales renferment à différents horizons des schistes bitumineux (sapropèlites). Les plus connus de ces gisements sont ceux du „Hauptdolomit" à *Seefeld* en Tyrol et à *Wallgau* sur l'Isar en Bavière, et ceux du „Muschel-

kalk" à *Perledo* sur le lac de Côme et à *Besano-Meride* sur le lac de Lugano. Sur territoire suisse, nous mentionnons les gisements de *Meride* et de *Caprino-Arogno.*

1) Des schistes à poissons riches en bitume sont exploités sur le versant N. du Monte San Giorgio, au N. de *Meride*, près de l'Alpe Serpiano, au-dessus de Brusino Arsizio. Ces schistes bitumineux appartiennent à la zone du Ceratites trinodosus du Trias moyen (Anisien); ils consistent en calcaires dolomitiques, en bancs minces, foncés, un peu siliceux, entre lesquels sont intercalés des schistes noirs finement plaquetés, riches en bitume. Les bancs calcaires sont épais de 20—30 cm., les schistes interstratifiés ont de 2—3 à 12—16 cm. La zone bitumineuse atteint une puissance totale de 8—10 m.. dont les calcaires constituent les $^4/_5$ et les schistes le $^1/_5$.

L'examen chimique du schiste bitumineux a donné les résultats suivants:

Teneur en cendres . . .	47 %
Eau	3 %
Huile minérale	21 %
Substance charbonneuse .	29 %

Le 40 % de l'huile minérale obtenue par la distillation bout au-dessous de 100°, le 60 % au-dessus de 100°. La teneur de l'huile en azote fut trouvée égale au 1,27 %, celle en soufre au 5,83 %. Par extraction au moyen du benzol, on a obtenu 3,98 % de bitume.

Les schistes à poisson bitumineux de Meride ont une grande extension et sont pratiquement inépuisables. La couche exploitée a 2,20 m. d'épaisseur; le 20—25 % en est utilisable. Ce „Minerale utile" est une marne schisteuse, noire, compacte, esquilleuse, inflammable. Par distillation sèche de 100 kg., on en obtient 7,5 kg. d'huile et 20 m³ de gaz. L'huile obtenue (Olio greggio) contient de 6,2 à 6,7 % d'azote et de 4,5 à 5,19 % de soufre, et son poids spécifique est de 0,943. Par raffinage de ce produit, on obtient l'„Ammonium sulfosaurolicum", le „Saurol". Les installations actuelles à Meride peuvent livrer environ 2000 kg. de saurol par an. — Le gîte de Meride est absolument analogue au gisement bien connu des schistes bitumineux de Seefeld, près d'Innsbruck, dont on extrait depuis longtemps le fameux ichtyol.

L'exploitation de Serpiano fut commencée en 1907. Cinq galeries longitudinales ont été ouvertes dans les schistes plon-

geant d'environ 40° vers le S.; elles ont une longueur maximale de 60 m., sont superposées sur une hauteur verticale d'environ 35 m., et communiquent entre elles par des plans inclinés. La quantité de „Minerale utile“ distillée de 1907 à 1915 s'élève à 1800 tonnes, dont 440 pour 1915 seulement.

2) Entre *Arogno* et *Caprino*, vis-à-vis de Lugano, il s'intercale, entre les porphyrés de Campione et le Lias du Monte la Sighignola, une série de sédiments triasiques sur une distance de 2,5 km., ayant au N. près de Pugerna une largeur de 700 m. et disparaissant presque complètement au S. à Arogno. On y constate successivement le Buntsandstein (servino), les Dolomies anisienne et ladinienne, les couches de Raibl et le Hauptdolomit. Dans cette série, on trouve des imprégnations bitumineuses à différents niveaux. L'une de ces zones d'imprégnation est à la limite des dolomies de l'Anisien et du Ladinien, occupant ainsi le même niveau que les schistes de *Meride*. En outre, nous observons le bitume dans les couches de Raibl et surtout dans le Hauptdolomit. A différents endroits, des galeries ont été ouvertes. La plus importante (Gal. Eugenia con Ribasso) se trouve dans le versant abrupt à l'altitude de 634 et de 775 m. à l'E. de Campione, sur le chemin *Pugerna-Arogno*. Le bitume y forme des lits de 10 à 30 cm. dans le Hauptdolomit, plongeant de 40° environ vers l'E. Une descenderie a suivi ces lits sur une longueur de 80 m. à peu près. Un travers banc long de 160 m. a coupé tout le Trias jusqu'à la rencontre de la descenderie. Le bitume dans ces calcaires du Hauptdolomit est compact, d'un noir de jais; il forme par endroits des veines pures ayant de 10 à 50 cm. d'épaisseur. En outre, il forme des imprégnations filoniennes dans les calcaires. — Le bitume d'Arogno a l'aspect d'une houille grasse, il a été exploité et utilisé comme charbon à gaz jusqu'en 1900.

L'analyse chimique du bitume a donné les résultats suivants:

Teneur en cendres	35 %
Eau	2 %
Huile minérale	18 %
Substances charbonneuses . .	45 %

En comparaison avec les analyses de charbons suisses (V. Pl. I). nous trouvons:

	I. Combustible exempt de cendres et asséché								II. Combustible brut		
	Composition élémentaire					Substances volatiles	H disponible	Chaleur de combustion	Eau	Cendres	Pouvoir calorifique
	C	H	O	N	S						
	%	%	%	%	%	%	p 100 C	Cal. kg	%	%	Cal. kg
Gal. Eugenia:											
Ribasso:	83,3	5,6	1,5	0,6	9.0	39,6	49,7	8585	0,9	36,6	4127
Descenderie	81,3	5,7	3,3	1,4	8,3	40,3	53,3	8266	1,0	33,9	4441

Par distillation on a obtenu 6,7% de goudron d'un poids spécifique de 1,042 et contenant 4,5% de soufre.

Les bitumes de Meride et d'Arogno, étant d'une origine identique, se distinguent par la nature de leur gisement. Tandis que le bitume de Meride se trouve dans les schistes à l'endroit de son dépôt originel, la nature du gisement de la houille d'Arogno s'explique par la décomposition des schistes bitumineux primaires et par migration et infiltration de la substance bitumineuse.

II. Sels.

Le seul des sels qui se trouve dans le sous-sol suisse en assez grande quantité pour être exploité en grand, c'est le sel gemme. On n'a pas découvert en Suisse de sels de potasse. Nous mentionnons des sulfates de magnésie et de sodium, qui fournissent de l'eau amère. Les sources minérales sont nombreuses en Suisse, mais on ne les considère pas d'ordinaire comme des matières premières minérales.

Pendant des siècles, la Suisse a été tributaire de l'etranger pour le sel; et même jusqu'à la fin du XIXme siècle on en a importé. Nous pouvons affirmer que la quantité de sel gemme constatée en Suisse suffira toujours à couvrir les besoins de la consommation indigène, si haute qu'elle soit.

1. Sel gemme.

Dans le Tertiaire inférieur (Oligocène) de la plaine du Haut-Rhin, aux environs de Mulhouse, d'épaisses couches de sel gemme associées à des sels potassiques ont été découvertes par des sondages profonds. Cette série tertiaire du Haut-Rhin se prolonge sur territoire suisse jusqu'à la bordure septentrionale du Jura aux environs de Bâle.

Le „Trias germanique“ de l'Europe centrale, qui entoure les massifs des Vosges et de la Forêt-Noire, renferme des couches de sel gemme dans le „Keuper moyen“ et dans le „Muschelkalk moyen“. Les gisements du sel dans le Muschelkalk se trouvent surtout à l'E., en Bavière, dans le Wurtemberg, le Grand-Duché de Bade, et jusqu'en Lorraine. Les couches de sel du Keuper commencent à l'W. de Saaralben (Lorraine), se propagent au-delà de Dieuze jusque dans la région de Nancy et réapparaissent près de Lure (à Gouhenans), de Besançon et de Salins. Dans la région rhénane de la Suisse septentrionale, entre Schaffhouse et Bâle, nous trou-

vons la continuation du Muschelkalk moyen salifère (groupe de l'anhydrite) de l'Allemagne du sud. Ce sel du Muschelkalk moyen fut aussi découvert dernièrement dans l'Ajoie par le sondage entrepris pour la recherche du charbon à *Buix*, au N. de *Porrentruy*. Le Keuper du N. de la Suisse ne renferme que de faibles traces de sel gemme (tunnel du Weissenstein).

Les amas de sel de la région de Bex appartiennent au Trias des Alpes de la Suisse occidentale, développé sous le facies de la „Rauchwacke“ ou cornieule.

A. Le sel dans la Plaine du Haut-Rhin.

Le Tertiaire inférieur (Oligocène) de la Plaine du Haut-Rhin pénètre en Suisse près de Bâle et s'étend jusqu'au Jura. La présence de sels pouvait être présumée dans cette formation, mais des forages étaient nécessaires pour nous renseigner à ce sujet. Un sondage fut donc entrepris en 1919 à *Allschwil* près de Bâle.

La question géologique que devait résoudre le sondage d'Allschwil était la suivante: Aux environs de *Mulhouse*, des sondages profonds ont révélé, au-dessous des marnes bleues de l'Oligocène (Septarienton), une série de couches oligocènes, d'une épaisseur d'environ 900 m., contenant, avec du sel gemme, deux bancs de sels potassiques de 1 et de 4 m. d'épaisseur, à 450 m. environ au-dessous de la base des dites marnes bleues. Près de Bâle, le sous-sol de la plaine du Rhin est formé des mêmes marnes bleues (Blauer Lett, Septarienton) de l'Oligocène moyen; leur base n'y ayant jamais été atteinte, on en ignorait l'épaisseur. Au bord du Jura, on connaît comme base de l'Oligocène des conglomérats calcaires (Meeressand) qui ont pour équivalent à Mulhouse la zone gompholithique, à 490 m. au-dessous des bancs de sels potassiques. Il s'agissait donc de savoir si, près de Bâle, à Allschwil par exemple, le tertiaire qui repose à une profondeur inconnue sur le calcaire jurassique, se compose uniquement de „Blauer Lett“ et de „Meeressand“, ou bien si entre les deux s'intercale la série complète de l'Oligocène.

En outre nous faisons remarquer que diverses circonstances donnaient à ce sondage une importance technique particulière:

1. Dans les marnes bleues (Septarienton), spécialement dans les grès qui y sont intercalés, on peut s'attendre à rencontrer des horizons aquifères à fort débit.

2. Dans le Tertiaire alsacien, on a constaté des lignites, à savoir: a) près de *Lobsann* dans la Basse-Alsace, à la limite entre l'Oligocène inférieur et l'Oligocène moyen; b) près d'*Illfurth*, *Altkirch* et *Habsheim* dans la Haute-Alsace, dans la partie supérieure de l'Oligocène inférieur; et c) près de *Buchsweiler* dans la Basse-Alsace, dans l'Oligocène moyen.

3. Des calcaires contenant de l'asphalte et des sables pétrolifères sont connus et en partie exploités en grand dans la Basse-Alsace près de *Lobsann* et de *Pechelbronn*, ainsi que près de *Hirsingen* et de *Hirzbach* dans la Haute-Alsace. Les deux gîtes appartiennent à l'Oligocène moyen et à l'Oligocène inférieur. (V. p. 117.)

4. Sur le calcaire du Jurassique, à la base du Tertiaire, repose le sidérolithique éocène, qui, aussi bien dans le Jura qu'au bord de la Forêt Noire et des Vosges, se trouve généralement répandu.

Le sondage fut commencé le 21 janvier 1919 et arrêté le 30 avril, à une profondeur de 327,5 m. Jusqu'à 200 m. on pratiqua le sondage au ciseau, et au-delà le sondage à carotte. Les carottes ont un diamètre de 11 cm. 1° Sous la „Niederterrasse", épaisse de 14 m., on traversa jusqu'à 171 m. la „marne bleue" (Septarienton), ce qui montre que, près de Bâle, la marne bleue atteint une épaisseur de près de 200 m. Dans cette formation, on constata à 133 m. de profondeur une couche de grès, épaisse de 0,5 m., et c'est probablement peu au-dessous d'elle qu'apparut une source, débitant 20 litres à la minute. C'est une source alcaline, car son eau contient jusqu'à 1865 mgr. de $NaHCO_3$ par litre. 2° Au-dessous des marnes bleues, on rencontra entre 171 et 200,45 m. des grès calcaires durs, contenant les espèces de foraminifères caractéristiques du „Meeressand". 3° Au-dessous de ce „Meeressand" on trouva une couche de calcaire d'eau douce de trois mètres de puissance seulement et ensuite une longue série de marnes uniformes, bigarrées, calcaires et sableuses, avec quelques bancs de conglomérats, jusqu'à la profondeur de 297 m. Il est essentiel de constater que ces 100 m. de couches tertiaires n'ont pas d'équivalent dans le Jura avoisinant, mais qu'elles rappellent les étages moyen et inférieur de l'Oligocène moyen en Alsace, où l'on trouve les sels. L'absence de toute trace de gypse ainsi que l'épaisseur relativement faible de cette série de couches près d'Allschwil expliquent, malgré certaines analogies de formation, l'absence de sels dans cet étage. 4° Au-dessous des

marnes calcaires et sableuses sus-mentionnées, apparaissent, entre 297 et 321,5 m., c'est à-dire jusqu'au calcaire jurassique, les deux horizons de l'Eocène bien connus dans notre Jura: le calcaire d'eau douce avec *Planorbis pseudammonius*, épais de 15 m., et les argiles sidérolithiques. Ce calcaire d'eau douce, riche en fossiles, contient les imprégnations d'asphalte, dont nous avons parlé plus haut (voir p. 117). La base des argiles sidérolithiques repose d'une façon caractéristique sur le calcaire du Malm irrégulièrement érodé, et sa couche inférieure, épaisse de 30—40 cm., est riche en „Bohnerz". 5° Le calcaire jurassique traversé pendant 6 m. correspond au „Verenaoolith" du Séquanien.

B. Le sel de la région rhénane entre Schaffhouse et Bâle.

1. Anciens sondages de recherche.

Une fontaine salée „fons salis" sortant du Muschelkalk près de *Sulz*, au S. de Laufenburg, était connue déjà en 1276; en 1805 on décrivait le „Salzbergwerk im Sulztale". La source renferme 5,73 gr. de sel (Na Cl) par litre.

Après la découverte du sel dans le Muschelkalk à *Wimpfen* sur le Neckar inférieur, à *Dürrheim* sur le Haut-Neckar et près de *Hall* dans le Wurtemberg, de 1819 à 1825, on pouvait s'attendre à ce que ces mêmes couches renferment du sel gemme aussi sur territoire suisse. Carl Christian Friedrich Glenck (1779—1845) entreprit toute une série de sondages qui aboutirent à la découverte du sel de *Schweizerhalle*.

Nous mentionnons les forages exécutés dans la Suisse septentrionale :

1. Schaffhouse: a) 1823, village de *Schleitheim*, 159 m. de profondeur (série des couches du Muschelkalk supérieur au granit). b) 1832, village de *Beggingen*, profondeur 180 m. (Keuper — Groupe de l'anhydrite). c) 1836/1838, *Beggingen-Schleitheim*, profondeur 180 m. (Keuper jusqu'au Wellenkalk). d) 1858, *Unter-Hallau*, profondeur 40 m. (Quaternaire à Lettenkohle). e) 1851, *Siblingen* (Keuper). — Dans les deux forages de Beggingen on prétend avoir trouvé des traces de sel à 60 m. environ au-dessous de la base du Hauptmuschelkalk, c'est-à-dire dans la profondeur de 180 m. (en 1832) et de 112 m. (en 1836/38).

2. Eglisau, 1821. Sur la rive gauche du Rhin 210 m., sur la rive droite 240 m. de profondeur (Molasse).

3. Jura bâlois et soleurois: a) 1834—1835, Moulin à *Oberdorf*, près de Waldenburg, profondeur 188 m. (Muschelkalk et Groupe de l'anhydrite). b) 1835, *Zullwil*, profondeur 25 m. (Keuper). c) 1846—1847, *Adliken*, à l'ouest de Wisen, profondeur 150 m. (Hauptmuschelkalk et Groupe de l'anhydrite chevauchée sur le Lias) d) 1849—1852, *Wisen*, profondeur 180 m. (Muschelkalk et Groupe de l'anhydrite). e) 1850, *Grellingen*, 471 m. de profondeur (Hauptrogenstein jusqu'aux marnes du Keuper). f) 1865, *Oristal*, 150 m. (Dogger et Lias).

4. Porrentruy: 1828—1835, *Cornol*, profondeur 330 m. (Keuper et Muschelkalk reposant sur le Dogger et l'Oxfordien).

5. Soleure: a) 1841, *Günsberg* (galerie dans le Muschelkalk). b) 1849, *Luchern* sur Wiedlisbach, profondeur 188 m. (Keuper, Muschelkalk, Groupe de l'anhydrite).

6. Bienne: 1820, *Bözingen* (Boujean), profondeur 225 m. (calcaire jurassique).

7. Parmi les sondages n'ayant donné aucun résultat, on doit mentionner en outre celui de *Bettingen*, sur le plateau du Dinkelberg, canton de Bâle-Ville, exécuté en 1889. Le forage, profond de 75.40 m., traversa 16 m. de Muschelkalk, le Groupe de l'anhydrite épais de 52 m. et 5,5 m. de Wellenkalk.

Peu de temps après l'insuccès du forage d'*Oberdorf*, C. Chr. Fr. Glenck commença un nouveau sondage, le 14 août 1835, près du „Rothaus" sur le Rhin, commune de Muttenz, à l'E. de Bâle. On rencontra, le 16 juillet 1836, une couche de sel comprise entre les profondeurs de 126,45 m. à 136,25 m. „On renonça alors à continuer le sondage parce qu'on se croyait en présence d'une couche de sel assez considérable pour pouvoir satisfaire à tous les besoins". L'eau salée fut conduite pendant un an et demi, dans des canaux de bois, aux bâtiments d'évaporation.

Par le succès du sondage du „Rothaus", le bassin salifère du Rhin, dans les cantons de Bâle-Campagne et d'Argovie, était découvert en fait. Jusqu'ici 43 forages ont atteint la couche de sel dans les régions de *Schweizerhalle-Kaiseraugst*, *Rheinfelden-Ryburg* et *Koblenz-Zurzach*. Cette même couche est également exploitée sur la rive badoise du Rhin, à *Wylen* et à *Badisch Rheinfelden*, pour les besoins de l'industrie chimique; il existe 15 sondages à Wylen et 8 à Badisch Rheinfelden.

2. *Position stratigraphique de la couche de sel.*

Tous les sondages exécutés jusqu'ici ont montré que la couche de sel gemme, appartenant au Groupe de l'anhydrite (Muschelkalk moyen), s'étendant sur une distance de 100 km. entre Dürrheim près de Donaueschingen au NE. et Bâle au SW., occupe une position stratigraphique remarquablement constante. Le Muschelkalk supérieur (Dolomie à Trigonodus et Hauptmuschelkalk) d'une épaisseur de 65 m. environ repose sur le Groupe de l'anhydrite, qui a lui-même une puissance de 80 à 90 m. La couche de sel du Groupe de l'anhydrite se présente constamment à un niveau de 60 m. au-dessous de la base du Muschelkalk; elle est surmontée par 40 m. de marnes à anhydrite et d'argiles, et par 20 m. de marnes dolomitiques ; son mur est formé par les „Stinkmergel" caractéristiques. Le complexe de couches composé de sel gemme, d'argile salée (Salzton) et d'anhydrite, possède une épaisseur de 20 à 30 m.; le sel compact forme des bancs épais de 5 à 10 m. A la base de la couche de sel réapparaissent environ 5 m. d'anhydrite compacte; au-dessous viennent environ 5 m. de marnes fétides (Stinkmergel), puis encore 3 à 5 m. d'anhydrite et enfin les marnes du Wellenkalk à *Myophoria orbicularis* (Muschelkalk inférieur).

Comme nous l'avons déjà mentionné, l'horizon salifère occupe un niveau d'une constance remarquable, mais nous observons que l'épaisseur du sel gemme pur, dans sa position fixe, varie entre les limites de 30, 20, 10 et 2 m.; le sel exploitable peut même manquer complètement, de sorte que, une dissolution secondaire étant exclue, on doit admettre qu'il s'est produit des changements dans les conditions des dépôts primaires, même sur de très faibles distances. La prognose géologique peut donc, en un point déterminé, fixer d'une façon certaine la profondeur de l'horizon salifère, mais ne peut renseigner ni sur l'épaisseur de la couche exploitable ni sur son absence. — Entre Zurzach et Rietheim, par exemple, on a fait sur une surface d'environ 2 km² les neuf sondages mentionnés sur le tableau de la page 153. Trois seulement de ces neuf sondages: Z IV, R III et R IV n'ont pas rencontré de sel. Au niveau fixé, c'est-à-dire à 60 m. au-dessous du Hauptmuschelkalk, il y apparut, à la place du sel, une brèche argileuse, puis, au-dessous, en position normale, de l'anhydrite et les marnes fétides. Ainsi que l'indique notre plan (fig. 5), nous pouvons admettre que le gisement NW.

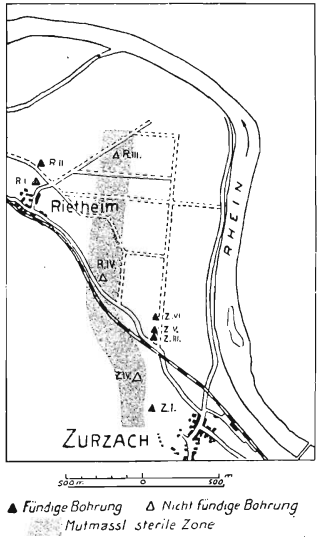
du territoire salifère, près de Rietheim, est séparé du gisement SE., près de Zurzach, par une étroite zone stérile, de 1,5 km. de long, courant du N. au S.

3. *Tectonique de la région salifère rhénane.*

Le sel gemme entamé par les forages est lessivé par les eaux arrivant à ces profondeurs; dans la plupart des cas l'eau phréatique y descend d'elle-même et on n'a qu'à pomper la

Fig. 5.

Territoire salifère de Rietheim et de Zurzach.



solution saturée qui s'est ainsi produite. Dans la région rhénane les conditions de lessivage de la couche de sel sont favorables dans le cas où celle-ci gît à une profondeur de 100—400 m. au-dessous de la surface du sol. Cette situation est déterminée par les conditions tectoniques; en suivant la coupe géologique le long du Rhin de Bâle au Randen près de Schaffhouse nous trouvons ainsi plusieurs régions salifères discontinues.

1. Entre *Rheinfelden* et *Bâle*, le Permien, le Trias et le Lias affleurent au bord du Rhin. Immédiatement à l'E. de

Bâle, ces couches mésozoïques plongent fortement vers l'W. et disparaissent sous le Tertiaire de la plaine du Haut-Rhin; le sel triasique y gît à 1000 m. de profondeur. Aux environs de Schweizerhalle, le sel se trouve à la profondeur de 120 à 160 m.; à 3 km. à l'est, à l'ancienne saline d'Augst, il n'est plus qu'à la profondeur de 80 m., et à 3 km. plus à l'est encore, il affleure au bord du Rhin. Deux failles, de direction SSW—NNE., divisent cette série tabulaire de couches en 3 lambeaux qui sont: Muttenz, Schweizerhalle et Pratteln. On n'extrait actuellement la saumure que dans le lambeau de *Schweizerhalle*.

2. Entre *Augst* et *Rheinfelden*, le Groupe de l'anhydrite est érodé et ce sont des couches plus anciennes qui viennent au jour. Nous voyons comment le Grès bigarré venant de l'W. butte, près du pont de Rheinfelden, contre le Groupe de l'anhydrite à l'E., de telle sorte que celui-ci présente de nouveau une position favorable à la conservation de la couche de sel. A l'E. de Rheinfelden, essentiellement dans la région du „Möhlinerfeld", soit à l'intérieur de la courbe que fait le Rhin vers le N., entre Rheinfelden et Wallbach, se trouvent les salines de *Rheinfelden* et de *Ryburg*. La région salifère *Rheinfelden-Ryburg* est limitée à l'Ouest et à l'Est par le Grès bigarré, dont l'apparition est due à la faille du pont de Rheinfelden et à celle de Wallbach-Brennet.

3. Ce n'est qu'à 25 km environ à l'E. de la région salifère Rheinfelden-Ryburg, que les conditions géologiques se prêtent de nouveau à ce que la couche de sel du Groupe de l'anhydrite soit conservée à une profondeur favorable. Sur les deux rives de l'Aar, à son confluent avec le Rhin, affleure le Hauptmuschelkalk et au-dessous se trouve l'anhydrite. Au NE. de *Koblenz*, sur le Rhin, le Groupe de l'anhydrite apparaît au jour; les sédiments s'abaissent vers le SE., de telle sorte que la couche de sel doit se trouver: à *Klingnau* à la profondeur approximative de 250 m., à *Döttingen* sur l'Aar à 350 m., à *Zurzach* à 350 m. et à *Reckingen* sur le Rhin vers 500 m.

4. Le prolongement NE. de la région salifère de Zurzach se trouve, en territoire suisse, dans le Klettgau (canton de Schaffhouse) de Trasadingen par Unter-Hallau et Neunkirch jusqu'au pied du Randen. Le plateau sédimentaire plonge ici aussi vers le SE. Le Groupe de l'anhydrite fut traversé à *Siblingen*, à la profondeur de 295 à 352 m., mais on ne trouva pas de sel.

*
* *

Le lessivage du sel au fond du sondage produit nécessairement des excavations. L'eau douce trouve accès dans le sel et la saumure est pompée à la surface. Il est naturel que ces vides engendrent des affaissements, comme on en observe aux alentours de ces sondages à maint endroit. Malgré ce désavantage, on ne saurait songer à remplacer l'exploitation par lessivage, si pratique et si peu coûteuse, par l'exploitation minière avec remblais. L'amplitude des affaissements du sol dépend de plusieurs facteurs variables de lieu en lieu. Nous observons par ex. qu'elle est moindre lorsque la couche de sel est en position horizontale. Quand la couche est redressée, le lessivage se propage surtout vers l'amont-pendage, et c'est de ce côté du sondage qu'on constate les affaissements principaux. C'est donc la tectonique qui, dans les affaissements, est un des facteurs déterminants.

Par deux nouveaux forages (N°s 7 et 8 Ryburg) dans un gisement horizontal de 50 m. d'épaisseur, on a traversé l'aire de lessivage d'anciens sondages, en exploitation depuis 50 ans au moins, à 50 et 100 m. de ces sondages. On n'y a pas trouvé de grandes excavations, mais les carottes retirées ont montré que le lessivage, tout en attaquant le sel compact, a laissé subsister une charpente, composée de sels non dissous, d'anhydrite et de brèches.

Partout où l'horizon salifère est porté par les mouvements orogéniques au-dessus du niveau phréatique, il doit subir l'influence de l'érosion, dont les effets sont un lessivage naturel. Des champs d'affaissement naturel s'observent ainsi près d'*Augst* à l'est de l'embouchure de l'Ergolz et à *Rheinfelden* dans la ville près du Schützenloch, toujours vers l'amont-pendage, c'est-à-dire à Augst vers l'est, et à Rheinfelden vers l'ouest. Des affaissements analogues, résultant du lessivage artificiel dans les sondages, s'observent aux environs de *Schweizerhalle*, et de *Rheinfelden* sur les deux côtés du Rhin. A *Schweizerhalle* la progression des affaissements est suivie depuis 1896 par un réseau de points dont la position est contrôlée chaque année. La statistique montre clairement que l'affaissement s'accentue du côté de l'amont-pendage, soit vers l'ouest. En 23 ans, il a atteint un maximum de 80 cm., à 200 m. à l'ouest des sondages mêmes, et se propage sur une étendue de 10 ha. La production annuelle étant de 300,000 q. de sel, on a extrait en 20 ans 300,000 m^3. Le vide intérieur comblé par l'affaissement, correspondant à l'amplitude de la dénivellation superficielle, peut être évalué

pour la même période à 30,000 m³, c'est-à-dire au dixième du sel enlevé. — Aux salines de *Rheinfelden*, la zone d'affaissement a 200 m. de long sur 50 de large. L'affaissement contrôlé depuis 20 ans a atteint un maximum de 70 cm. La production annuelle étant de 100,000 q. de sel, on a extrait en 20 ans 100,000 m³ de sel. Le vide comblé par l'affleurement n'y est que de 5000 m³, c'est-à-dire du vingtième du sel enlevé.

4. Les sondages depuis 1835.

Les sondages exécutés en territoire suisse, dans la région rhénane, de 1835 à nos jours, sont mentionnés, de l'W. à l'E., sous forme de tableaux (p. 152 153) pour autant que des rapports quelque peu précis ont été obtenus. Ces tableaux montrent que de 1835 à nos jours 55 sondages ont été exécutés, d'une longueur totale de 10500 m. (profondeur moyenne d'un forage 190 m.). Quarante-trois d'entre eux ont trouvé le sel. La profondeur la plus faible à laquelle ce dernier ait été atteint est de 80 m., la plus considérable de 463 m.

5. Les salines.

La découverte du sel au „Rothaus" eut comme conséquence immédiate la fondation de la saline de „Schweizerhalle" qui fut solennellement inaugurée le 30 mai 1836. Le sondage de cette localité ne fut utilisé que pendant un an et demi. Jusqu'en 1902, 6 forages exécutés à l'intérieur de la saline livrèrent la saumure Les nouveaux sondages, No. 12, 14, 15 et 17, ayant atteint jusqu'à 30 m. d'épaisseur de sel, se trouvent à 500—700 m. à l'E. de celle-ci. Sa capacité de production annuelle déclarée est de 350,000 quintaux.

Sur le territoire argovien, près d'Augst, un gisement, voisin de l'affleurement, fut atteint à de faibles profondeurs par des sondages en 1841, puis entre 1867 et 1872. Il fut exploité une première fois de 1843 à 1846 et une seconde fois de 1869—1907. L'établissement du grand barrage d'Augst eut pour effet la fermeture de la saline, inondée maintenant.

On fora, de 1843 à 1868, 6 sondages pour la saline de Rheinfelden. Sa capacité annuelle de production déclarée est d'environ 100,000 quintaux. — La saline de Ryburg fut concédée en 1846 ; ses 8 sondages datent de 1846, 1856, 1869, 1894, 1908, 1918 et 1919. Avec une épaisseur maximale de 48,5 m. (sondage No. 8), la couche de sel ne

Sondage	Date du sondage	Profondeur m.	Couches traversées	Sondage à carottes m.	Couche productive de sel	
					Profondeur m.	Epaisseur m.
			I. Schweizerhalle.			
			a) Lambeau de Muttenz près de Rothaus.			
N° 1	1835/36	136,25	Keuper-Groupe de l'Anhydrite	—	126,45-136,25	9,8
N° 16	1916/17	136,65	Keuper-Marnes fétides	115,2—136,65	—	—
			b) Lambeau de Schweizerhalle près de la Saline.			
N° 2	1836/37	124,5	Muschelkalk-Groupe de l'Anhydrite	—	117—124,5	7,5
N° 3	1838/40	126	„ „	—	?	?
N° 4	1840/41	144	„ „	—	129—144	15
N°. 5	1840/41	144	„ „	—	125—135	10
N° 6 et 7	1852	160,5	Muschelkalk-Wellenkalk	—	134—157	23
N° 8	1864/65	159,3	„ „	—	137,3—159	21,7
N° 9	1901/02	85	Muschelkalk	—	—	—
N° 12	1908/09	194,5	Keuper-Wellenkalk	151—194,5	151—181	30
N° 14	1914/15	189,05	Keuper-Groupe de l'Anhydrite	155—189,05	163,5—186	22,5
N° 15	1916	180,7	„ „	180,2—180,7	150,6—180,7	30
N° 17	1917	188,29	„ „	162,4—188,29	162,4—186,59	24,19
			c) Zone de failles entre les lambeaux de Schweizerhalle et de Pratteln.			
N° 10 et 11	1902/04	189,5	Keuper-Wellenkalk (sans Muschelk.)	—	144 - 177	33
N° 13	1913	221,97	Keuper-Marnes fétides	140,27—145,6 149,3—157,2 165—221,97	—	—
			II. Augst.			
			Bord E. du lambeau de Pratteln.			
N° 1	1841	138,07	Muschelkalk-Wellenkalk	—	83,5 - 94,5	11
N° 2	—	106,8	Muschelkalk-Marnes fétides	—	83—92	9
N° 3	1867	158	Muschelkalk-Grès bigarré supérieur	—	92,4—96,4	4
N° 4	1869/70	104,47	Muschelkalk-Marnes fétides	—	80—90	10
N° 5	1869/70	139,2	Muschelkalk-Grès bigarré supérieur	—	—	—
N° 6	1871	env.100	Muschelkalk-Groupe de l'Anhydrite	—	84—93,25	9,25
N° 7	1872	env.100	„ „	—	82—90,53	8,53
			III. Rheinfelden.			
			a) Saline.			
N° 1	1843/44	120,8	Muschelkalk-Groupe de l'Anhydrite	—	105,3—120,8	15,5
N° 2	—	120	„ „	—	103,5—120	16,5
N° 3	1858	120	„ „	—	101,4—120	18,6
N° 4	—	124,8	Muschelkalk-Groupe de l'Anhydrite	—	107,7—124,8	17,1
N° 5	1866/68	125,3	„ „	—	113,5—125,3	11,8
N° 5a	1867/68	141,2	Muschelkalk-Marnes fétides	—	113—140,2	27,2

Sondage	Date du sondage	Profondeur m.	Couches traversées	Sondage à carottes m.	Couche productive de sel	
					Profondeur m.	Epaisseur m.
			b' Grüttgraben.			
N° 4a	1857/61	165,87	Muschelkalk-Wellenkalk	—	—	—
N° 4b	1859 60	123,08	Muschelkalk-Groupe de l'Anhydrite	—	107—123,8	16,8
			IV. Ryburg.			
N° 1	1846/47	157,8	Muschelkalk-Groupe de l'Anhydrite	—	143,7—157,8	14,1
N° 2	—	159,3	„ „	—	142,2—159,3	17,1
N° 3	1854/56	159,55	„ „	—	142—159,55	17,55
N° 4	1868/69	165,12	„ „	—	142,92 165,12	22,20
N° 5	1894	195,55	„ „	182,6 - 187	149—195 55	46,55
N° 6	1908	195,6	„ „	à 150,5, 174 et 194	164—194	30
N° 7	1919	194,74	„ „	—	154,0—178,4	24,4
N° 8	1918	200,55	„ „	148—200,55	148—196,5	48,5
			V. Felsenau-Koblenz-Klingnau.			
Felsenau	1857/58	156	Muschelkalk-Wellenkalk	—	120—123	3
Burten	1912/13	250	„ „	175—250	—	—
Sohlenacker	1908	150	Keuper-Muschelkalk	—	—	—
Koblenz I	1892	143,1	Muschelkalk-Groupe de l'Anhydrite	—	132,3 -143,1	10,8
Koblenz II	1903	150	Muschelkalk-Marnes fétides	110—150	130 - 142,25	12,25
Klingnau	1913	263,2	Keuper-Wellenkalk	166,32—263,2	240,05-246,13	6,08
			VI. Rietheim-Zurzach.			
Rietheim 1	1912/13	235	Keuper-Wellenmergel	114,26—135	203,7—218,63	14,93
Rietheim 2	1918	214,3	Keuper-Groupe de l'Anhydrite	198 214	201,7 212	10,3
Rietheim 3	1918/19	243,75	Keuper-Marnes fétides	197,40—243,75	—	
Rietheim 4	1919	276,10	Keuper-Marnes fétides	260—276,10	—	—
Zurzach 1	1913/14	416,24	Argiles à Opalinus-Granit	303,1—416,24	331,85 351,69	19,84
Zurzach 3	1916	328,5	Lias-Groupe de l'Anhydrite	298,60—328,50	307,14 326,15	19,01
Zurzach 4	1916/17	348,14	Argiles à Opalinus-Marnes fétides	318,5—348,14		—
Zurzach 5	1917/18	323,46	Argiles à Opalinus-Gr. de l'Anhydrite		305—321	16
Zurzach 6	1918	318	Lias-Wellenmergel	292—318	305,7—307,5	1,8
Zurzach 2 (Oberfeld)	1915/16	476,46	Dogger supérieur-Marnes fétides	418,0—476,46	455,7—463,6	7,9
			VII. Klettgau.			
Siblingen	1913	376,32	Argiles à Opalinus-Wellenkalk	313,25—376,32		—

fut pas traversée. La capacité annuelle de production de la saline est de 240,000 quintaux.

Les trois salines fusionnèrent en juillet 1909 et se transformèrent en une société par actions: „Société des Salines Suisses du Rhin réunies“ (Vereinigte Schweizerische Rheinsalinen). En 1914, elles produisirent 668,180.17 quintaux métriques de sel.

On fit, déjà en 1857, des tentatives de sondage de sel dans la région du Muschelkalk sur le Rhin et l'Aar, près de Koblenz. Kornelius Vögeli, de Zurzach, le premier, fora, en 1892, le sel près de Koblenz; après qu'un sondage officiel de contrôle, en 1903, eut confirmé la découverte, une concession fut accordée pour l'exploitation du sel industriel dans le district de Zurzach, une première fois le 20 septembre 1905 et définitivement le 21 septembre 1912 à la „Société des Salines Suisses du Rhin réunies“. On fonda alors la „Soudière suisse“ (Schweizerische Sodafabrik), à Zurzach, dont la production annuelle est fixée à 30,000 tonnes de soude calcinée. La couche de sel découverte dans le district de Zurzach doit ainsi fournir annuellement 60,000 tonnes de sel sous forme de saumure. Les quantités de sel utilisées par la soudière suisse sont ainsi du même ordre de grandeur que celles consommées en Suisse sous forme de Na Cl. Douze sondages ont été forés de 1912 à 1919 sur les deux rives de l'Aar près de Klingnau-Koblenz, et sur la rive sud du Rhin près de Rietheim-Zurzach. Actuellement 5 puits sont en exploitation à Rietheim et à Zurzach.

Le sondage No. 1, près de Zurzach, qui atteignit, entre 332 et 352 m. environ de profondeur, une couche de 20 m. de sel, fut continué en 1914, au travers du Wellenkalk et du Grès bigarré jusqu'au Granit, qui fut entamé à la profondeur de 416.24 m. On eut ainsi la preuve qu'il n'existe pas de sels potassiques ni de Carbonifère productif au-dessous de la couche de sel. Par contre on découvrit une source thermale sortant du granit, à la profondeur de 416,24; sa température est de 38° C. et son débit de 200 litres par minute. L'eau contient, par litre, seulement 0,86 gr. de résidus, dont 0,37 gr. sont du Na_2SO_4, 0,23 gr du NaCl et 0,18 du Na_2CO_3.

C. Le sel de l'Ajoie.

Aux environs de Nancy, au Nord de l'éperon d'Epinal, nous avons le bassin de sel productif, d'âge keupérien, de

Dombasle-Varangéville. Deux forages, non loin de Lunéville (Menil-Flin et Mouacourt), ont prouvé qu'au-dessous de ce sel keupérien, le Muschelkalk renferme également des couches de sel, qui sont donc du même âge que celles de la région rhénane du N. de la Suisse. Au Sud de l'éperon d'Epinal, aux environs de Lure, on a de nouveau le sel keupérien près de *Gouhenans*, à 40 km. au N.-W. de Delle. Par contre, le Muschelkalk affleurant dans cette région, foré avec une épaisseur de 90 m. (Sondage de la Brosse), ne montra pas trace de sel. Donc dans le forage de *Buix*, dans l'Ajoie (V. p. 111 et sqd.), on pouvait s'attendre à trouver le sel keupérien, tandis qu'il paraissait probable que le Muschelkalk serait stérile. Le Keuper y fut trouvé entre 562 et 753 m. de profondeur, soit avec une épaisseur de 191 m. Le sel présumé n'y a pas été rencontré. Le Muschelkalk s'est présenté à la profondeur comprise entre 753 et 992 m., donc avec 239 m. de puissance et dans de Groupe de l'anhydrite, entre 880 et 950 m, soit sur 70 m. d'épaisseur, on constata la présence d'un horizon salifère renfermant 50 m. de sel gemme pur. Nous avons dans l'Ajoie la réapparition de l'horizon salifère de la région rhénane, qui conserve absolument la même position stratigraphique, puisque, dans l'Ajoie comme dans la région rhénane, il commence à 60 m. au-dessous du Hauptmuschelkalk. Etant donnée la structure géologique du pays, le sel doit y atteindre une très grande étendue.

D. Le sel dans les Alpes.

1. Il existe un seul renseignement concernant une apparition de sel dans la Molasse subalpine. Près de *Riggisberg*, à 15 km. au S. de Berne, des travaux ont été faits, de 1473 à 1511, afin de rechercher du sel dans la Molasse marine.

2. Dans les Alpes, l'horizon salifère principal est aussi le Trias, qui, développé sous le facies typique de la cornieule (Rauchwacke), renferme, près de *Bex* (canton de Vaud), d'épais amas d'anhydrite associés à des brèches salifères (Haselgebirge). Depuis le milieu du XVIe siècle, on connaît près de Bex trois sources salées principales: la 1ère au N. de *Panex*, au-dessus d'Aigle, la 2ème au *Fondement* dans la vallée de la Gryonne, à l'E. de Bex, et la 3ème sur le flanc NW. du *Chamossaire*. Les sources furent captées au moyen de puits et de galeries. Depuis 1823, la roche est lessivée dans la mine. Trois lentilles de roc salé sont exploitées par disso-

lution à l'intérieur de la région de l'ancienne source salée du *Fondement*, au moyen des galeries du *Bévieux-Bouillet*, longues de 3½ km., à 300—400 m. au-dessous de la surface du sol. Pendant ces dernières années, la production annuelle atteignit 50,000 quintaux métriques de sel.

La masse triasique de Bex se poursuit en direction NE. par le col du Pillon et Frutigen jusqu'au lac de Thoune et dans les klippes du lac des Quatre-Cantons. Des traces de sel se trouvent à *Sattel*, au S. de Bellegarde (Jaun), près de *Hondrich*, au SE. de Spiez et enfin près de *Dallenwil*, au S. de Stans.

Dans le Trias du Valais on a également constaté des traces de sel. En 1544, on découvrit de l'eau faiblement salée près de *Cambiola* dans le Val d'Hérens. Des sources faiblement salées sortent d'un massif de calcaire et de gypse triasiques. Un gisement analogue se trouve à Moûtiers en Tarentaise (Savoie). De 1804 à 1827 les travaux de recherches furent repris par l'état du Valais et par Mr. de Glenck. Une galerie profonde de 70 m. y est encore praticable. Les sources salées sortent des fentes du calcaire au fond de cette galerie ainsi qu'au bord de la Borgne. La teneur en sel est d'environ 1 gr. par litre.

2. Sulfates de magnésie et de sodium.

a) On a signalé en 1822 des sels amers dans le gypse du Keuper de la carrière d'Asp à Mönchenstein près de Bâle.

b) Dès le commencement du XIXe siècle, des sels amers sont connus dans le gypse du Keuper à *Mülligen* et à *Birmenstorf*, au bord de la Reuss, près de Brugg en Argovie. Ces gisements ont acquis une importance économique; l'eau amère peut en être obtenue par lessivage du gypse contenant les sels. — Le Keuper gypsifère forme, des deux côtés de la Reuss, le noyau de l'anticlinal du Lägern. Dans la partie orientale du canton d'Argovie, la chaîne du Jura ne consiste qu'en cet anticlinal renversé vers le N., qui, dirigé W-E., traverse l'Aar près de Schinznach-les-Bains, la Reuss près de Birmenstorf et la Limmat près de Baden. C'est du noyau de cet anticlinal, formé de Keuper et de Muschelkalk, que sortent les sources sulfureuses de Schinznach et de Baden. Les couches de sel gemme du Muschelkalk moyen

sont, dans ce noyau anticlinal, restées dans la profondeur, tandis que, comme nous l'avons dit, des imprégnations de sel amer dans le Keuper se sont maintenues au-dessus de la nappe phréatique. Des deux côtés de la Reuss, l'anticlinal présente une structure asymétrique. Le flanc sud, normal, contient la série de couches plongeant vers le sud: Malm, Dogger, Lias, Keuper, Lettenkohle, Dolomie à Trigonodus, et enfin Hauptmuschelkalk. Ce flanc sud chevauche sur les couches fortement inclinées du flanc nord et sur le Muschelkalk imbriqué du noyau anticlinal. C'est le Keuper du flanc sud qui, à Schambelen près *Mülligen* et à *Birmenstorf*, contient le sel amer inclus dans le gypse.

Ces veines de sel amer contiennent de l'Epsomite ($MgSO_4 + 7\,H_2O$) et de la Mirabilite ($Na_2SO_4 + 10\,H_2O$). On les exploite en lessivant la roche salifère à l'intérieur de la montagne pour obtenir une eau sulfatée magnésienne et sodique, qui constitue une eau purgative naturelle (Bitterwasser).

L'eau minérale obtenue à *Mülligen* contenait 32,44 gr. de Na_2SO_4 et 1,5 gr. de $MgSO_4$ par litre. L'exploitation en fut abandonnée en 1905.

A *Birmenstorf*, le gypse salifère est en exploitation depuis 1841. A 1 km. au nord de Birmenstorf et à l'est de la Reuss, à une altitude de 460 m., c'est-à-dire à 130 m. au-dessus du niveau de la rivière, on a creusé 7 puits traversant les couches verticales du Keuper gypsifère. Ces puits sont alignés sur une longueur de 200 m. en direction W-E., et descendent jusqu'à 80 m. de profondeur, soit jusqu'à 50 m. au-dessus du niveau de la Reuss. Les galeries d'exploitation reliant les puits à divers niveaux ont une longueur de 600 m. La couche de gypse où l'on exploite les sulfates de magnésie et de sodium a une épaisseur de 60 cm. environ, et en outre on rencontre dans les galeries des sources d'eau amère. — Pour faciliter l'exploitation, on a essayé d'arriver au niveau du sel exploitable au moyen d'une galerie à niveau. En février 1920, cette galerie de base, à l'altitude de 380 m., partant de l'ouest près de la route de Brugg à Birmenstorf, a atteint le fond du puits II, après un parcours de 568 m. Grâce à cette galerie, on peut maintenant faire écouler directement les eaux amères du fond des anciens travaux, et l'on n'a plus besoin de faire remonter les saumures du fond des galeries jusqu'à la surface, sur une contre-pente de 80 m.

L'analyse de l'eau minérale a donné, à différentes époques, les résultats suivants:

	Eau produite		Source Puits II. 5. V. 1917	Eau amassée au fond des galeries 20. II. 1920.
	1892	1917		
Sels gr. p. Ltr.	31,41	34,75	41,94	25,99
	%	%	%	%
$MgSO_4$	40,0	55,1	35.2	39,2
Na_2SO_4	53,8	38.1	52,9	46,2
$CaSO_4$	1,1	3,3	6,8	5,6
K_2SO_4	3,8	1,2	1,7	1,6
$MgCl_2$	1,3	2,3	3,4	7,4
$MgSO_4$	43%	60%	40%	46%
Na_2SO_4	57%	40%	60%	54%

L'eau amère de Birmenstorf ainsi que la gangue des sels de magnésium et de sodium contiennent du lithium. — La radioactivité est de 2,8 M.E. d'après A. Schweizer.

La nature de l'eau est caractérisée par le rapport de sa teneur en $MgSO_4$ et en Na_2SO_4. Les eaux amères de Birmenstorf sont en tous points identiques aux célèbres eaux minérales de Budapest. L'eau analysée en 1892, dans laquelle $MgSO_4 : Na_2SO_4 = 43 : 57$, correspond exactement aux sources „Attila“ et „Szechenyi“ de Budapest, tandis que l'eau analysée en 1917, où $MgSO_4 : Na_2SO_4 = 60 : 40$, est l'équivalent des sources „Rakoczy“ et „Victoria“ de Budapest.

Ces années dernières, on a produit à Birmenstorf 200,000 bouteilles d'eau amère par an.

c) Les gypses du Muschelkalk moyen de la vallée de la Wutach, à la frontière N. du canton de Schaffhouse, ont également montré des traces de sel amer. On trouva, déjà en 1823, la mirabilite dans le gypse du Muschelkalk de Stühlingen. Dernièrement, on a découvert, dans une galerie ouverte dans le gypse, près d'*Eberfingen*, à 3 km. au NW. de *Unter-Hallau*, une eau minérale renfermant 13 gr. de NaCl, 60 gr. de Na_2SO_4 et 30 gr. de $MgSO_4$ par litre.

III. Minerais.

Ainsi que le montre clairement le développement historique de l'exploitation des minerais en Suisse, l'importance pratique de leurs gisements est secondaire. Le nombre des endroits où l'on trouve des minerais et celui des localités où existaient des mines est cependant très considérable et les types des gîtes métallifères extrêmement variés.

Les gisements de matières premières métallifères sont, en Suisse, représentés par des types spéciaux suivant qu'ils apparaissent dans une des trois régions si différentes au point de vue de leur nature géologique, le Jura, le Plateau ou les Alpes.

Dans le Jura, on ne rencontre que des minerais de fer oxydé, soit les bohnerz éluviaux, soit des couches de limonite oolithique du Jurassique ou du Crétacé.

Dans les dépôts alluviaux du Plateau, on trouve de l'or de lavage en petite quantité.

Dans les Alpes, les minerais sont variés, tant au point de vue de leur gisement géologique qu'à celui de leur substance. — Les sédiments alpins renferment: des minerais de fer oxydé dans l'Eocène, le Malm, le Dogger et le Trias; des minerais de manganèse dans les couches jaspoïdes jurassiques et dans les calcaires du Trias; de la pyrite dans le Carbonifère; des minerais de cuivre dans le Verrucano, des minerais de plomb et de zinc dans les calcaires du Trias. — Dans la région des schistes cristallins prédominent les fahlbandes et les filons-couches; ils contiennent du mispikel, de la chalcopyrite et des cuivres gris, des minerais de nickel et de cobalt, de la galène, de la blende. Des filons proprement dits, associés à des fahlbandes, renferment en partie des minerais de nickel, en partie de la galène et de la blende. Ce sont des filons typiques qui présentent les pyrites aurifères. Ces filons qui traversent les schistes cristallins sont de formation toute récente, postérieur au dernier soulèvement alpin.

L'exploitation des gîtes métallifères suisses n'a guère acquis d'importance dans la période moderne, comme le montre le nombre des ouvriers employés à ces travaux. Dans les mines de *Delémont*. 120 ouvriers travaillaient de 1895 à 1900, 65 de 1900 à 1910, et 50 de 1910 à 1920; en *Valais* les les fluctuations, correspondant à des entreprises de courte durée, sont beaucoup plus grandes; nous y trouvons par exemple 80 ouvriers vers 1896, 110 de 1900 à 1903 et 44 de 1904 à 1905.

En Suisse, à l'exception de la mine de fer de Delémont, on voit par ce qui précède qu'aucune exploitation de minerais n'a pu exister d'une façon continue. Mais de tout temps, de nouveaux projets furent élaborés et des tentatives faites pour remettre en activité d'anciens travaux. De nos jours, la diminution et la difficulté des importations ont favorisé ces initiatives indigènes. C'est ainsi qu'on a repris l'exploitation du minerai de fer au Gonzen et en Argovie, celle du minerai de manganèse dans les Grisons, et qu'on a produit du soufre en traitant des pyrites valaisannes.

I. Minerais de fer oxydé.

Ces minerais se trouvent, en Suisse, aussi bien dans le Jura que dans les Alpes. Dans le Jura, ce sont d'une part les bohnerz de l'Eocène (Sidérolithique), d'autre part, les couches de limonite oolithique dans les calcaires marins crétacés et jurassiques. Dans les Alpes calcaires apparaissent également des bohnerz d'âge tertiaire ancien; nous y trouvons encore des couches de minerais de fer dans l'Eocène, dans le Malm et dans le Dogger. On observe, dans le Trias des Grisons. des nids et des couches de limonite et d'hématite. La magnétite du Mont Chemin près de Martigny mérite une mention spéciale.

A. Minerais de fer du Jura.

L'exploitation des minerais de fer dans le Jura est la seule qui ait pu, en Suisse, subsister jusqu'à nos jours. Les minerais sont des bohnerz éocènes exploités aujourd'hui encore dans le Val de *Delémont*. Anciennement des calcaires ferrugineux du Dogger (minettes) et du Crétacé inférieur (limonite) furent également fondus. Les huit hauts fourneaux suivants étaient encore en activité, dans le Jura soleurois et bernois, vers

le milieu du XIXe siècle: Klus près de Balstal; Gänsbrunnen au N. de Soleure; Delémont, les Rondez, Courrendlin dans le bassin de Delémont; Undervelier dans la cluse du Pichoux; Klein-Lützel à l'W. de Laufon et Bellefontaine sur le Doubs, à l'W. de St-Ursanne. De 1810 à 1848, un haut fourneau était également en exploitation à Lauffen près de Schaffhouse. Aujourd'hui, le haut fourneau des Usines métallurgiques de Roll à Choindez, en activité depuis 1845, livre seul encore du fer. Pendant les cent ans compris entre 1810 et 1910, les différents hauts fourneaux jurassiens produisirent 591800 tonnes de fer brut, ce qui représente la quantité importée actuellement en Suisse pendant deux ans.

1. Les Bohnerz de l'Eocène (Sidérolithique).

La formation du Sidérolithique dans le Jura est liée à une période toute particulière de l'histoire géologique du pays. Partout où, dans l'Europe centrale, la série des couches sédimentaires mésozoïques se termine par des couches calcaires et où manquent les plus anciens dépôts marins des formations tertiaires, on trouve comme formation tertiaire la plus ancienne en date le fer pisolithique, associé à du bol, du sable siliceux (Huppererde), des phosphorites, des bauxites etc. A l'époque de la formation du fer pisolithique, la majeure partie de la Suisse, ainsi que la Franconie, la Souabe, la Lorraine et la Bourgogne formaient un continent plat très étendu, à la surface duquel des calcaires ferrifères se désagrégeaient sous l'influence du climat tropical d'alors. Il se forma des „produits éluviaux“ analogues à la „terra rossa“ et à la „latérite“.

Le fer pisolithique se trouve dans du bol, c'est-à-dire dans des couches d'argiles rouges, dont la puissance atteint jusqu'à 60 mètres. Ces argiles présentent toutes les transitions possibles entre la roche argileuse et la roche sableuse. Dans la partie supérieure des bolus, il ne se trouve que peu de grains de limonite. Les argiles sidérolithiques jaunes deviennent progressivement dans la profondeur brun-rouge à rouge sang, en même temps que les grains de fer deviennent plus nombreux, jusqu'à ce qu'ils se concentrent en une véritable couche de bohnerz, pouvant avoir jusqu'à un mètre d'épaisseur. La masse du bohnerz ne s'étend pas d'une façon continue, mais elle se développe sous forme d'amas ou de len-

tilles. Le bolus peut être ainsi partiellement stérile. Il l'est surtout aussi là où apparaît une forte proportion de silice, et le mineur jurassien sait depuis longtemps que les sables quartzeux sont un signe certain de la pauvreté en minerai. Le Sidérolithique repose sur le calcaire crétacé ou jurassique. Il en recouvre les surfaces lapiésées et y pénètre en dépôts profonds sous forme de poches et d'infiltrations.

Les grains de fer (bohnerz) consistent en concrétions de la grosseur d'un pois à celle d'une noisette. Ils sont en partie compacts, en partie de structure sphérolithique. A côté de ces grains, on trouve des nodules de forme irrégulière ayant une croûte dure, riche en fer, et un noyau tendre, argilo-sableux. de couleur jaune rouille. — Les bolus renferment jusqu'à 12 %, mais le minerai lavé jusqu'à 60 % d'oxyde de fer. La teneur des bolus en fer métallique n'est ainsi que d'environ 8 %, tandis que le minerai lavé livre 40 % de fer en chiffre rond. Il est digne de remarque que le minerai de Delémont ne contient qu'une quantité très faible de phosphore (0,2 %).

La distribution géographique du Sidérolithique dans le Jura suisse est indiquée par les localités suivantes:

a) Canton de Schaffhouse. Les calcaires presque horizontaux du Malm supérieur sont localement recouverts par des argiles sidérolithiques. Le minerai s'enrichit dans les dépressions, les fentes, les crevasses. Il fut exploité à à ciel ouvert, d'une part au NE. de Schaffhouse, sur le Reyat près de *Stetten* et de *Lohn*, d'autre part au SW. de Schaffhouse, dans le Klettgau près de *Guntmadingen*, sur le Laufenberg, l'Hemming, Krummsteigebene, des deux côtés de l'Ergoltingertal. De petites quantités de bohnerz se trouvaient sur les deux rives du Rhin près de *Flurlingen*. L'exploitation en eut lieu de 1678 à 1770, de 1798 à 1850. La production totale des mines de fer du canton de Schaffhouse est estimée à 70,000 tonnes de fer brut. On a fouillé dernièrement aux environs de l'Ergoltingertal.

b) Canton d'Argovie. Des amas de bohnerz se trouvent sur les calcaires du Malm à *Degerfelden* sur l'Iberg, au N. de *Siggental*, à *Regensberg* à l'extrémité NE. de la Lägern, à *Gebensdorf* à l'W. de Baden, au-dessus de *Brugg* sur l'Aar etc. Le gisement le plus considérable est celui du Hungerberg entre Erlisbach et *Küttigen* au N. d'Aarau; de cette localité on a extrait, de 1804 à 1814, environ 1500 tonnes de minerai.

c) Dans les cantons de Bâle et de Soleure, sur le bord nord du Jura, où commence le Tertiaire de la plaîne du Haut-Rhin, nous trouvons au toit du calcaire jurassique l'Eocène, composé de calcaires d'eau douce, de „Huppererde“ et de bolus. Dans le sondage d'Allschwil (V. p. 143/4), le bolus rencontré de 311,7 à 321,5 m de profondeur, contenait du bohnerz concentré dans une couche épaisse de 40 cm seulement et reposant sur la surface lapiésée du Malm.

d) Cantons de Soleure et de Berne. Dans les chaînes du Jura soleurois et bernois, le bohnerz repose également sur les calcaires du Malm; il est conservé sur les flancs des anticlinaux, et dans les synclinaux avec le Tertiaire. L'affleurement du Sidérolithique forme ainsi, le long des versants, d'étroits rubans; la couche reposant sur les calcaires est érodée vers le haut, alors que, vers la vallée, elle disparaît sous les couches tertiaires plus jeunes. Les localités principales où fut anciennement exploité le minerai sont les suivantes:

1. Bord S. du Jura: *Nieder-Gösgen, Egerkingen-Oensingen, Oberdorf* près de Soleure et *Granges-Longeau.*

2. La région la plus riche en minerai du canton de Soleure est la vallée de la Dünnern: *Balsthal, Matzendorf, Welschenrohr* et *Gänsbrunnen.*

Le bohnerz affleurant fut exploité ici le long des flancs de la vallée; il repose au N. directement sur les calcaires du Malm de la chaîne du Graitery et au S. sur ceux du Weissenstein. Les localités d'exploitations sont: Balsthal, Erzmatt, Im Schaad, Goleten, Bärenmatt, Rotacker, Schmelzi, Almend Welschenrohr, In der Malsen, Füegenhof et enfin Subigerberg au SW. de Gänsbrunnen. L'exploitation se faisait à ciel ouvert ou en galeries avec puits montants. En 1865, près de Matzendorf, on utilisait une galerie de plus de 300 m. de longueur. Le minerai est appelé „Schwarzerz“; il consiste surtout en concrétions de la grosseur d'une noix enfouies dans le bolus qui s'enrichit au contact direct du calcaire jurassique. A côté de celui-ci, on trouve, spécialement près de Welschenrohr, des couches finement plaquetées d'une roche argileuse, dont la teneur en Fe fut trouvée de 21,5 %.

Le minerai était livré aux hauts fourneaux de Gänsbrunnen et de Klus; ce dernier fut en activité jusqu'en 1877. — La quantité de minerai se trouvant encore dans la vallée de la Dünnern est estimée à 375,000 tonnes.

3. Dans le Val de *Péry*, dont le confluent avec la vallée de la Suze se trouve à Reuchenette au N. de Bienne, du minerai fut exploité au XVIIe siècle.

4. La Birse et ses affluents traversent, dans leur cours supérieur jusqu'à Delémont, les anticlinaux jurassiens suivants: Montoz, Graitery-Moron, Raimeux et Vellerat. — Les localités avec bohnerz de la région de *Court* appartiennent au versant N. de la chaîne du Montoz. — Dans le tunnel de Granges, on traversa les bohnerz du jambage S. de l'anticlinal du Graitery au km. 3,23 à partir du portail N. Ils sont la continuation W. des gisements mentionnés de Gänsbrunnen et de la vallée de la Dünnern. — On exploita le bohnerz du synclinal de Moutier, entre le Graitery et le Raimeux, à l'W. de Moutier près de *Sornetan*, à l'E. de cette localité près de *Corcelles* et dans le *Guldental* à l'W. de Mümliswil. — Le bohnerz du flanc N. du Graitery, affleurant sur la Birse près de la „*Verrerie*", a été atteint dans le tunnel de Moutier-Granges vers 0,95 km. de l'entrée N. — Le synclinal séparant le Raimeux de la chaîne du Vellerat renferme du bohnerz à l'W. de la Birse près d'Undervelier et de *Soulce*, et à l'E. de ce cours d'eau entre Rebeuvelier et *Vermes*.

5. La région la plus étendue où se trouve du bohnerz est le synclinal compris entre les chaînes du Vellerat et des Rangiers; c'est le bassin de *Delémont* (Delsberg) qui, de Mervelier à l'E. à Glovelier à l'W., possède une superficie de 60 km^2. Les anciennes exploitations à ciel ouvert sont, sur le bord S. du bassin, près de *Courrendlin* et de *Châtillon*, sur le versant N. près de *Vicques*, *Courroux*, *Delémont*, *Develier* et *Séprais*. La couche de bohnerz affleurant sur les versants est atteinte, à l'intérieur du synclinal, au moyen de puits d'une profondeur de 80—130 m. La région des mines exploitées à Delémont possède une surface de 230 ha. Des 119 puits forés, deux sont encore en activité (Blancherie 107 m. et La Croisée 80 m.). En 1917, un nouveau puits, „Puits Rondez", fut creusé au S. des Rondez; à la profondeur de 60 m., il rencontra la couche de bohnerz épaisse de 30 à 70 cm. — Sur les 60 km^2 occupés par le synclinal, la quantité moyenne de minerai par km^2, est de 25,000 tonnes en chiffre rond. Sur environ 20 km^2, le minerai a été extrait; la quantité de bohnerz encore disponible peut être d'environ 1 million de tonnes, ce qui correspond à 400,000 tonnes de fer brut. Entre 1899 et 1909, on a extrait annuellement 6300 tonnes, représentant 2500 tonnes de fer brut.

6. Au N. de Delémont dans le synclinal, de direction W-E., séparant la chaîne des Rangiers de celle de Movelier, on trouve du bohnerz à l'W. de Soyhières, près de *Mettenberg* et de Bourrignon.

7. Ce minerai fut exploité dans la vallée de la Lucelle, à l'W. de Laufon près de *Röschenz* (Silberloch), de *Petit Lucelle*, de *Roggenbourg* et de Lucelle.

e) Cantons de Neuchâtel et de Vaud. Le Sidérolithique de la Suisse romande repose d'habitude sur les calcaires du Crétacé. Il ne forme guère ici que des remplissages accidentels de crevasses, mais n'est nulle part en quantité assez considérable pour être exploité. Nous mentionnons les localités suivantes:

Les calcaires crétacés qui font saillie au-dessous de la Molasse sont recouverts de Sidérolithique près de *Chevressy* au SE. d'Yverdon, et près de *Goumoëns-le-Jux* à l'E. de La Sarraz; et ceux du *Mont Chamblon* près d'Yverdon et du *Mormont* près de La Sarraz, présentent des cassures dont le remplissage est formé de bols et de bohnerz. (V. p. 129.)

2. *Les minerais de fer du Crétacé et du Jurassique.*

a) Crétacé.

Le „Valanginien" de la série infracrétacée du Jura occidental aux environs de *Pontarlier* (France) et de *Ste. Croix* (Suisse), consiste essentiellement en un calcaire oolithique ferrugineux. La variété la plus riche de ce „calcaire roux" est la „limonite", qui atteint une puissance de 4 à 5 m. et dont on obtient par lavage un minerai rendant jusqu'à 35 % de Fe. En France, sur le Doubs supérieur, au sud de Pontarlier, à *Métabief*, *Les Longevilles*, *Les Fourgs*, *Oye* et *les Grangettes*, on exploita les minerais qu'on fondait dans les hauts fourneaux de Pontarlier et de Rochejean. En Suisse les localités d'ancienne exploitation sont: *Couvet*, *Buttes*, *La Côte-aux-Fées* dans le Val de Travers, l'*Auberson* près de Ste-Croix, ensuite *Ballaigues* dans la vallée de l'Orbe et la rive N. du *Lac de Joux*. Aux environs de Ste-Croix des hauts fourneaux existaient à „Mouille-Mougnon" et à „Noirvaux" dès le commencement du XVIème siècle le haut fourneau du „Bas-de-Noirvaux" était encore en activité en 1803 et fut détruit en 1811. — Dernièrement des grattages ont été pratiquées aux environs de l'*Auberson*.

b) Jurassique.

Dans l'Europe centrale, aux formations permo-triasiques. où prédominent les éléments clastiques, succèdent les sédiments argilo-calcaires du jurassique, et, pendant le lias et le jurassique moyen, les dépôts ferrugineux deviennent abondants. Les minerais que l'on y trouve sont des calcaires argileux et oolithiques, plus ou moins siliceux, et riches en organismes; ils contiennent de 20 à 40% de Fe. La présence constante d'une proportion plus ou moins forte de phosphore (0,5 à 2,5%) n'a rendu leur utilisation possible qu'après la découverte des procédés de déphosphoration.

Les sédiments ferrugineux du jurassique se groupent autour des massifs hercyniens émergés de l'Europe centrale.

Au sud-est des massifs primaires de l'Ardenne, de l'Eifel, du Hunsrück et des Vosges, les couches jurassiques, plongeant en pente douce de 1 à 2 p. 100 vers l'ouest, forment la bordure du bassin de Paris. Elles contiennent les célèbres gisements de minerais de fer connus sous le nom de Minette. La série ferrugineuse de la minette appartient à la base du mésojurassique et au lias supérieur. (Aalénien et Toarcien – zones de Amm. Murchisonae, A. torulosus et A. Jurensis.) Le toit de la formation ferrugineuse est constitué par les marnes micacées de la base du bajocien; le mur, toujours très net, est formé par une marne verte, gréseuse et pyriteuse. L'épaisseur de la formation ferrugineuse varie beaucoup suivant les points, oscillant entre 30 et 60 m. Elle contient jusqu'à 10 couches de minerai, épaisses de 1 à 4 m. et atteignant jusqu'à 25 m. de puissance totale. Ces minettes lorraines forment deux bassins: celui du nord, *Longwy*, *Briey*. *St-Privat*, a une superficie de 120,000 ha., et contient jusqu'à 5000 millions de tonnes de minerais exploitables; celui du sud, *Pont à Mousson*. *Nancy*, d'une superficie de 18,500 ha., contient 200 millions de tonnes. Ces gisements constituent un des plus importants bassins ferrifères actuellement connus dans le monde; ils sont restreints à la bordure E et SE du bassin de Paris.

Le jurassique qui forme la bordure orientale et méridionale du massif primaire de la Forêt Noire, se continue par les régions du Jura suisse et français jusque dans la vallée du Rhône au sud de Lyon, où il se rapproche du jurassique formant le bord oriental et méridional du Plateau central français. Dans cette région, les dépôts ferrugineux, au lieu

d'être concentrés comme en Lorraine, sont disséminés et font partie de différents étages du jurassique. — A l'est, dans le Jura de Franconie et de Souabe, on connaît les minerais de fer dans les couches de l'Aalénien (Murchisonaeschichten) à *Aalen-Wasseralfingen*, dans le Kochertal, au nord d'Ulm, et 30 km. plus au sud-ouest, à *Kuchen*, près de Geisslingen dans le Filstal. Près de Wasseralfingen, les Murchisonaeschichten, épaisses de 25 m., contiennent deux couches de 1,70 m. et de 1,40 m. de puissance. La mine d'Aalen a été exploitée de 1539 à 1888; celle de Wasseralfingen l'est encore, et en 1911, sa production a été 12,789 tonnes de minerai contenant 35 % de fer. Dans le Filstal, la mine de Kuchen a été fermée en 1885. — Dans le Jura suisse, nous n'avons pas les analogues de ces minerais de Wasseralfingen, qui sont du reste à peu près contemporains de la minette lorraine. Comme nous le verrons, les couches ferrugineuses du Jura suisse appartiennent soit au callovien du mésojurassique supérieur, soit au bajocien du mésojurassique inférieur.

Dans le Jura suisse, nous trouvons des couches ferrifères surtout dans les cantons d'Argovie et de Berne.

1. Dans le Jura argovien, entre *Herznach* et *Wölflisuil* (Fricktal), la position stratigraphique des couches ferrugineuses, limitées à la base du Malm et à la partie supérieure du Dogger, est la suivante:

I. Oxfordien.

„Cordatusschichten", calcaires marneux oolithiques . . . . . 0,15—0,3 m.

II. Callovien.

„Anceps-Athleta-Zone und Macrocephalenschichten":

1. Oolithe ferrugineuse . . . . . 2—5 m.
2. Calcaire roux ou grisâtre et marnes argilo-sableuses jaunâtres . . . . . 6—8 m.

III. Bathonien.

„Variansschichten", calcaire roux sableux et marneux . . . . . 2—5 m.

„Ferrugineusschichten", calcaires spathiques et oolithiques, ferrugineux par nids et par couches 15 m.

Dans le Jura argovien, les couches du Dogger au mur du Bathonien supérieur, c'est-à-dire l'Oolithe à Am. Parkinsoni du Bathonien inférieur et toute la série du Bajocien et de l'Aalénien, sont pauvres en fer, de sorte que nous ne pouvons pas y trouver l'équivalent stratigraphique des minettes lorraines. Le minerai le plus important de l'Argovie est l'oolithe ferrugineuse du Callovien, qui a été en effet exploité autrefois. Les Calcaires spathiques du Bathonien (Ferrugineusschichten), dans lesquelles on trouve des traces d'anciennes exploitations au Kreisacker près de *Sulz* et aux environs de Böttstein, sont de moindre importance.

Au sujet de l'extension géographique du minerai du Callovien (Linsenerz), voici les indications que nous possédons: Dans le Jura limitrophe de la Suisse, entre Schaffhouse et Donaueschingen, on constate, près de *Gutmadingen*, les „Macrocephalenschichten" et en partie aussi les „Ornatustone" reposant sur elles, développées sous leur facies ferrugineux sur une épaisseur maximale de 3—4 m. La couche du minerai exploité (Linsenerz) atteint une puissance de 1,5 m.; l'extraction y a duré jusqu'en 1860. — Ce même Callovien se continue vers le SW. jusqu'à *Blumberg* (Bade) et *Siblingen* (Schaffhouse) sur le Randen, où la formation, épaisse de 2,20 m., renferme 1,30 m. de minerai de fer. Ce gisement mesure 10 km. du N. au S. Plus on s'avance vers le SW., plus l'épaisseur et la teneur en fer de la couche de minerai se réduisent; à l'Achenberg près de *Zurzach* et à l'ouest de l'Aar au Wessenberg, par ex., le Callovien n'a plus en tout qu'environ 0,5 m. d'épaisseur et est très peu ferrugineux. Au nord-ouest du Fricktal, entre *Möhntal* et *Sulz*, par ex. à l'Eisengraben sur le *Geissacker*. les oolithes ferrugineuses recommencent à augmenter dans une couche épaisse de quelques décimètres. Mais ce n'est qu'au sud de *Frick*. que le Callovien atteint le développement indiqué dans le profil précédent (v. p. 167), qui vient d'être confirmé par les nouvelles fouilles à la *Bärhalde* (Windischmatt), dans le Dachslengraben à l'ouest de *Herznach*. et à Riedmatt près de *Wölfliswil*. La couche de minerai atteint jusqu'à 3 m. d'épaisseur. — Le facies ferrugineux du Callovien s'étend encore vers l'ouest de Wölfliswil, par *Anwil* et *Rünenberg*. jusqu'au delà du Hauenstein. Cependant, sur ce parcours, la constitution des couches limites entre le Malm et le Dogger se transforme peu à peu. Déjà immédiatement à l'ouest de Wölfliswil, les couches de-

viennent plus marneuses et plus pauvres en oolithes ferrugineuses. Dans la région du *Hauenstein*, les calcaires sableux et les marnes des Macrocephalenschichten, épaisses de 40 m., sont recouverts par des calcaires à entroques ferrugineux (Dalle nacrée) (5 m.) et par des calcaires marneux oolithiques ferrugineux (2 m.). C'est donc dans la région de *Herznach* et de *Wölfliswil* que, sur une longueur d'environ 3 km. du NE. au SW., nous reconnaissons l'existence d'une couche importante de minerai de fer. Le facies de Gutmadingen s'y reproduit. La quantité du minerai exploitable dans la région Herznach-Wölfliswil est sans doute considérable; par des levés géologiques détaillés et par des fouilles on peut obtenir une base précise pour son estimation. Son extension peut être évaluée à quelques centaines d'hectares. Le minerai de Herznach est un calcaire ferrugineux oolithique. Le ciment calcaire est finement grenu et riche en entroques. Les oolithes, ordinairement isolées, sont de dimensions égales, leur grand diamètre ne dépasse guère 1 mm. Le fer des oolithes est invariablement de la limonite; il est opaque dans les préparations et voile souvent la structure concentrique des oolithes. On n'y observe aucun minéral métamorphe: ni hématite, ni magnétite, ni martite, ni chamosite.

Un échantillon typique du minerai de la *Bärhalde* possède la composition suivante; à titre de comparaison nous y ajoutons les analyses des 4 variétés typiques de minettes lorraines (p. 170).

Les teneurs en Fe déterminées dans différents échantillons de Herznach sont de 23, 26, 27, 28 et 32 %, les teneurs en P de 0,39 à 1,08 %. Il ressort de là que la minéralisation est beaucoup moins forte dans les oolithes ferrugineuses de Herznach que dans les minettes proprement dites.

Les minerais de fer du *Fricktal* ont été exploités au XVIIe siècle et dans la première moitié du XVIIIe siècle, et ont été principalement livrés au haut fourneau de Laufenbourg. De 1596 à 1743, on a extrait 87,579 „Karreten“ (tombereaux) de minerai, c'est-à-dire environ 60,000 tonnes. Les anciennes exploitations se trouvent au „Feuerberg“ et au „Röthifeld“, au NE. de *Wölfliswil*, où les couches du Bathonien, plongeant en pente douce au sud-est, sont recouvertes par du Callovien ferrifère, qui, vers le sud, est surmonté par le Malm inférieur et le Tertiaire.

2. Dans le *Jura bernois*, des oolithes ferrugineuses jurassiques sont connues aux environs de *Delémont* et de *Ste-Ursanne*.

	Herznach (Bärhalde)	Minettes lorraines			
		Couche noire	Couche grise	Couche rouge	Couche rouge sableuse
	%	%	%	%	%
SiO_2	14,55	15,1	7,9	9,9	33,6
Al_2O_3	8,57	5,2	2,3	5,5	4,2
Fe_2O_3	33,78	57,0	45,5	60,6	44,5
FeO	3,17	0,3	0,4	—	—
CaO	16,60	5,9	19,0	6,2	5,3
MgO	1,18	0,5	0,5	0,5	0,5
P_2O_5	2,49	1,7	1,7	1,8	1,6
CO_2	11,80	4,6	14,3	4,9	4,1
H_2O	7,80	9,3	8,0	10,1	6,6
Fe	26,1	39,8	31,8	42,4	31,1
P	1,08	0,7	0,7	0,8	0,6
Composition minéralogique					
Limonite	42	65	54	78	51
Carbonates de Ca et Mg	27	8	30	11	10
Silicates et Quartz	31	27	16	11	39

Ces oolithes appartiennent ici à deux horizons: 1° A un niveau supérieur se rapporte le minerai désigné comme „Fer Sous-Oxfordien". Ce sont les couches limites entre le Dogger et le Malm, comme le „Linsenerz" du Fricktal. Ce minerai fut exploité près de *Montvoie*, à l'W. de Ste-Ursanne, et au NE. de *Movelier*, où la couche ferrugineuse est d'une puissance de 2 m. — 2° Aux couches à Ludwigia Murchisonae du Dogger inférieur (Aalénien) appartiennent les minerais des *Orties*, 2,5 km. à l'est de Soyhières, des *Rangiers* (Grange Giéron), de „*Sur Moron*" au NE. et au N. de Ste-Ursanne et enfin ceux d'*Undervelier* dans la cluse du Pichoux. L'assise de Ludwigia Murchisonae des Rangiers est d'une puissance de 15 m. et renferme trois couches ferrugineuses exploitables d'une épaisseur totale de 2 m. Les minerais de fer jurassiques du Jura bernois ont été fondus jusque vers la moitié du siècle passé dans les hauts fourneaux d'Undervelier et de Bellefontaine sur le Doubs. — Dans le sondage pratiqué près de Buix, à 10 km. au nord de Ste-Ursanne, pour y rechercher du charbon, on a traversé sur une épaisseur de 200 m. les couches horizontales de tout le Dogger, sans que

les échantillons du forage à ciseau aient révélé des couches riches en fer. (V. p. 111.)

Dans la continuation occidentale du Jura à partir de Ste-Ursanne, dans les départements français du Doubs et du Jura, il n'y a pas de gisements de minerai de fer exploitables appartenant au Callovien; par contre les couches du Dogger inférieur contiennent des gîtes ferrifères à *Leissey*, à 16 km. au NE. de Besançon, et à *Ougney*, à 27 km. à l'ouest de la même ville. La couche ferrugineuse, d'une puissance de 3—4 m., contenant de 20 à 28 % de Fe, appartient ici au Bajocien inférieur et représente donc l'analogue de nos gisements des Rangiers et d'Undervelier. Plus au sud-ouest dans le Jura français, il existe d'autres gisements des deux côtés du Rhône, dans les départements de l'Ain et de l'Isère. à *Villebois* et à *Verpillière:* ils appartiennent au Toarcien, c'est-à-dire au Lias supérieur. Un nouveau centre d'imprégnation ferrugineuse dans les sédiments jurassiques se trouve sur le bord SE. du Plateau central, au sud de *Valence*, dans le département de l'Ardèche, où le niveau du minerai de *Privas* appartient au Bajocien, tandis que le gisement de *la Voulte* est interstratifié dans le Callovien. — Comme nous le verrons plus tard, nous retrouvons dans le Jurassique des Alpes suisses les équivalents des couches de Herznach dans la „Blegioolithe", qui s'étend depuis le Calanda jusqu'au fond de la vallée de Lauterbrunnen, tandis que le „Fer Sous-Oxfordien" du Jura bernois est représenté par les gisements de *Erzegg-Planplatten* et de *Chamoson*.

B. Les minerais de fer des Alpes.

Les minerais de fer des Alpes sont d'une importance technique moindre que ceux du Jura. Il y avait dans les Grisons quatre hauts fourneaux en activité soit: Ferrera (1810—1845), Truns (1817—1842), Tinzen (1825—1835) et Bellaluna (1832—1851); en Valais, un seul, celui d'Ardon (1810—1857). Le plus important était celui de Plons, à l'W. de Sargans, dans lequel on fondait le minerai de fer du Gonzen (1825—1868 et 1872—1876). La production totale de ces hauts fourneaux alpins, de 1810 à 1876, s'éleva à 137,200 tonnes de fer brut, tandis que les hauts fourneaux du Jura ont produit dans la même période 300 000 tonnes environ.

Les minerais de fer des Alpes sont: 1° les bohnerz de l'Eocène, 2° des gisements sédimentaires marins surtout dans le Jurassique, 3° des gisements de substitution dans les calcaires du Trias austroalpin ou du Cristallin.

1. Bohnerz et Nummulitique de l'Eocène.

A) Bohnerz. Dans les Alpes aussi, nous trouvons des bohnerz éocènes; ils sont étroitement limités aux régions à facies helvétique des Hautes Alpes calcaires autochtones. Analogues à ceux du Jura, ils reposent dans la Suisse orientale, surtout sur les calcaires crétacés. Nous mentionnons les localités qui suivent:

a) A l'E. de la Reuss: *Zutreibistock*, au bord S. du Claridenfirn, sur le Crétacé inférieur (Oehrlikalk) — *Hoh-Faulen* et Belmeten au-dessus d'Erstfeld.

b) A l'W. de la Reuss jusqu'à Meiringen: *Stierenbachfall* au pied NW. du Schlossberg et *Fürrenalp* à l'E. d'Engelberg.

c) Entre Meiringen et Lauterbrunnen: Versant E. des *Engelhörner* au-delà de la vallée de l'Urbach; sur le versant W. de l'Engelhorn, ainsi que sur le flanc NW. du *Welli-Grat* sur Rosenlaui. — On connaît en outre des traces d'Eocène ferrugineux près de Lauterbrunnen et sur la Wengernalp.

d) Fisistöcke-Gemmi. Sur le chemin de Kandersteg à la Fisialp, dans la paroi NW. de l'*Inner Fisistock*, vers environ 2600 m. d'altitude, gît du bohnerz avec 25,7 % de Fe. Il repose sur le Tschingelkalk (calcaire de Tschingel) du Crétacé inférieur et est recouvert par des marnes riches en fossiles et des calcaires éocènes à Lithothamnium. A la *Gemmi*, dans la région de la Lämmernalp, on trouve, sur une distance de 3 km., le Sidérolithique intercalé entre le Crétacé inférieur et des calcaires d'eau douce éocènes.

e) Col du Sanetsch-Diablerets. Des poches de bohnerz sont répandues dans les calcaires urgoniens des *Lapiés de Tsanfleuron*. Au S. du sommet des *Diablerets*, à la „Tête Ronde ou de La Houille", un grès ferrugineux avec 15 % de Fe, épais de 20 m., est intercalé entre l'Eocène renfermant du charbon et les calcaires urgoniens (V. p. 37).

f) Dents du Midi. Au pied NW. de l'abrupte paroi des *Dents du Midi*, entre les glaciers de Soix et de Chalin, le Sidérolithique est développé en une épaisseur de 15 m., entre le calcaire nummulitique et l'Urgonien. Plus loin, vers le

SW., une couche de pisolithes composées de chamosite et d'hématite affleure près des „lacs d'Anthémoz“ sur Champéry, à l'altitude de 2250 m., sur une distance de 600 m. environ, avec une épaisseur 0,5 à 2 m. — Le minerai de fer est compris entre le calcaire nummulitique au mur et le Cénomanien (Seewerkalk) au toit. Les couches, dirigées N 75° E plongent de 15° vers le sud. Le minerai repose sur une brêche épaisse de 5 m., composée de calcaires nummulitiques et cénomaniens Au toit, le minerai s'infiltre dans le „Seewerkalk“, formant un gîte de substitution, de sorte qu'au microscope l'on constate dans le calcaire fortement minéralisé les foraminifères caractéristiques du „Seewerkalk“. La variété typique de la pisolithe est d'une structure porphyrique; dans uue pâte dense d'un lustre métallique, sont agglomérées des oolithes d'un diamètre de 2 à 8 mm., composées de chamosite et d'hématite. En blocs isolés, on trouve aussi un minerai massif riche en manganèse.

Nous avons à notre disposition les analyses suivantes du minerai du lac d'Anthémoz (p. 174).

Le gîsement des minerais de fer du lac d'Anthémoz a été étudié surtout en 1918, deux fouilles ont été pratiquées au SW. et au SE. au-dessus des lacs d'Anthémoz.

B) Nummulitique. Dans les Alpes orientales, les couches à nummulites de l'Eocène contiennent des minerais de fer oolithiques dans une zone qu'on peut suivre du Mattsee au N. de Salzbourg, par le Kressenberg, Neubeuern sur l'Inn, Tölz sur l'Isar et Sonthofen dans l'Allgäu jusqu'à Dornbirn dans la vallée du Rhin au sud de Bregenz. C'est surtout au Grünten près de Sonthofen et au Kressenberg au SE. du Chiemsee que ces couches sont riches en minerai. En Suisse, on peut suivre ces mêmes couches à nummulites du Säntis jusqu'au Lac de Thoune. Pourtant, ce n'est qu'au bord du Lac de *Lowerz* qu'elles contiennent une couche peu importante de minerai correspondant au gisement du Kressenberg. Sur la rive sud du lac, vis-à-vis de l'île de Schwanau, à l'*Ottenfels*, un „linsenförmiger Toneisenstein“ du calcaire nummulitique a été exploité dans une petite mine à ciel ouvert. Le minerai est un calcaire nummulitique imprégné de limonite, et c'est surtout dans les cavités des nummulites que la limonite s'est concentrée. Le minerai contient 30 % d'oxyde de fer, 7 % d'argile et 63 % de calcaire. Il correspond aux qualités inférieures du Grünten, tandis que minerai du Kressenberg contient 50 % d'oxyde de fer. — Les couches nummu-

	Pisolithe			Minerai massif
	I.	II.	III.	
SiO_2	34,55	29,63	23,68	37,78
TiO_2	1,00	1,51	—	—
Al_2O_3	12,33	14,98	13,09	9,82
Fe_2O_3	14,19	27,28	39,17	22,82
FeO	23,04	14,04	14,21	—
MgO	4,21	1,63	2,61	3,45
MnO	—	—	—	6,27
CaO	—	—	0,43	7,08
P_2O_5	1,92	0,02	0,44	0,38
CO_2	1,61	3,38	0,61	5,94
H_2O	7,15	7,45	5,83	6,83
Fe	28	30	38	15
Mn	—	—	—	5
P.	0,83	0,01	0,96	0,83
Composition minéralogique				
Chamosite	65	43	35	—
Hématite et Limonite	11	26	42	30
Sidérite	4	10	2	—
Psilomélane	—	—	—	6
Calcite	—	—	—	14
Quartz et Silicates	20	21	21	50

litiques au-dessus du glacier de *Rosenlaui* contiennent aussi du minerai de fer, qu'on a autrefois fouillé.

2. *Gisements marins du Jurassique.*

a) Malm. (Hochgebirgskalk.) Un étage du Hochgebirgskalk, le „Quintnerkalk“ renferme au *Gonzen* au-dessus de *Sargans* un gîte syngénétique de minerai de fer oligiste compact, ayant jusqu'à 3 m. d'épaisseur et contenant 40 à 60 % de fer. Au fer oligiste s'associent par endroits de la magnétite et des minerais manganésifères. La couche contenant le minerai occupe à peu près le milieu du Quintnerkalk, épais

d'environ 400 m.; à son toit apparaît une zone marneuse continue. L'horizon métallifère s'étend sur le versant SE. et sur le versant S. du Gonzen, sur une superficie de 40 ha. environ. — Le minerai a été exploité autrefois dans quatre mines sur les versants E. et S., entre 750 et 950 m. de hauteur au-dessus de la vallée.

La *Grube I*, située le plus à l'est (1250—1390 m.) est la plus grande. La surface exploitée par cette mine s'élève à près de 1,75 ha., avec un cube de 20 à 25,000 m^3 de minerais extraits. Le gîte, épais de 1,5 à 2 m., consiste presque exclusivement en fer oligiste compact violacé, contenant par places des mouches de pyrite; la couche plonge de 40° vers l'ENE. et a été exploitée à 4 niveaux. L'entrée de la mine se trouve un peu à l'est et à 35 m. environ au-dessus du Knappenhaus (1214 m.). La galerie d'écoulement suit une crevasse vers le NNW., et, tournant vers le WNW., atteint le gîte après un parcours de 204 m. D'après l'ancien plan, le champ minier de 1,75 ha. fut exploité aux niveaux 0 m., 26,6 m., 85,6 m. et 84,1 m., par 4 galeries poussées vers le N., sur une longueur de 70—100 m. chacune. L'exploitation se fit par gradins droits, et les galeries étaient reliées entre elles par un sentier montant en zigzag servant de plan incliné. L'issue supérieure se trouve à l'altitude 1390 m., dans le grand couloir entre le „Hohe Gonzen" à l'ouest et la „Gemsweid" à l'est, à 130 m. de l'entrée de la Grube II. — A l'intérieur de la Grube I, on constate des dénivellations de la couche ferrifère, causées d'une part par des failles dirigées NNE., où le rejet atteint jusqu'à 5 m., et d'autre part par des ondulations et des failles dirigées WNW.

La *Grube II* s'ouvre au fond du grand couloir entre le „Hohe Gonzen" et la „Gemsweid", à 1402 m. d'altitude. La couche ferrifère y est très redressée, presque verticale dans tout son parcours, et se dirige à peu près E-W. Elle est donc située dans un système tectonique tout à fait différent de celui de la Grube I voisine. En effet, le grand couloir entre le „Hohe Gonzen" et la „Gemsweid" correspond à une faille avec torsion des couches. Dans la Grube II, la couche est suivie sur une longueur de 200 m. Elle montre des ondulations soit dans sa direction, qui passe de WNW.-ESE. à WSW.-ENE., soit dans son plongement, qui est en haut de 80° N., passe par la verticale, et atteint en bas 80—85° S. L'épaisseur moyenne du flötz est de 2 m. et peut atteindre 4 m. Le minerai se compose de fer oligiste, de magnétite

et de pyrite; la magnétite, souvent prédominante, est accompagnée de minerais manganésifères, en particulier de rhodochrosite (dialogite). L'exploitation s'est faite par gradins renversés, et la quantité de minerai extraite s'élève à 6500 m³ environ.

La *Grube IV* et la *Grube III*. ainsi que l'*Abliswerk*, sont situées directement au S. du sommet du Gonzen, à 1446, 1250 et 1200 m. d'altitude. Dans toute la région de ces trois mines, les couches du Malm, très redressées. sont en général dirigées E-W., avec des oscillations. Dans la Grube IV, le flötz exploité couvre une surface de près de 1600 m². Il est dirigé N. 60° E. et plonge de 20° vers le SE. Son épaisseur atteint jusqu'à 3 m., mais il renferme beaucoup de roches calcaires plus ou moins stériles: „Melierter Berg." — L'entrée de la Grube III est à 1250 m. d'altitude, au bord occidental de la Follenplatte. Le flötz, dirigé N. 60° W. à N. 80° W., est suivi en position presque verticale sur une longueur de 10 m. jusqu'à 30 m. de profondeur. Son épaisseur est de 1,5 m. — Le flötz de l'Abliswerk n'est que la continuation de celui de la Grube III vers le NE. — La minéralisation du Malm se poursuit depuis la région des Gruben III et IV vers le NW.; dans la paroi du Tschuggen, à 1 km. environ, on a constaté le flötz sur une longueur de 200 m. au-dessus du „Roter Bruch". A 4 km. à l'WNW. du Gonzen, on retrouve le flötz dans les mêmes conditions stratigraphiques au Roneberg et au Spitzbühl.

Le minerai du Gonzen constitue, dans le calcaire du Malm, un flötz d'un caractère assez uniforme. On constate des passages du calcaire au minerai, surtout au mur du flötz, formant ainsi des variétés pauvrement minéralisées, qu'on appelle le „Melierter Berg". On y trouve par places des restes de fossiles, des bélemnites et des ammonites (périsphinctes). Le composant principal du minerai est une hématite compacte, jamais oolithique et peu schisteuse. Dans le minerai même, le microscope révèle des restes de foraminifères. Au milieu de l'hématite il y a des inclusions de pyrite en cristaux. Des minerais de manganèse sont associés à l'hématite et à la magnétite, surtout dans la Grube II et dans la région du chapeau de fer dans la Grube I. Les minerais de manganèse sont des oxydes (variétés de psilomélane), et du carbonate (rhodochrosite). La teneur en Fe du minerai abattu oscille entre 55 et 65%, celle en Mn entre 30 et 40%. La composition chimique et minéralogique des principaux types des minerais du Gonzen est donnée par les chiffres suivants:

Minerais de Fer	No. 1 Tout-venant Plons	No. 2 Grube I 1. Gal.	No. 3 Grube II
	%	%	%
$Si\ O_2$	5,57	7,50	4,50
$Al_2\ O_3$	0,15	2,16	2,72
$Fe_2\ O_3$	84,81	81,56	44,06
$Fe\ O$	3,94	5,46	36,02
$Ca\ O$	0,54	—	tr.
$Mg\ O$	0,02	—	tr.
$P_2\ O_5$	0,11	0,13	—
$H_2\ O$	1,40	2,95	1,25
$C\ O_2$	2,82	—	10,75
Fe	61,2	61,3	65,5
P	0,04	0,05	—
Composition minéralogique			
Hématite	65	55	—
Magnétite	—	19	60
Limonite	20	15	4
Sidérose	6	—	28
Gangue	9	11	8
Densité	—	4,17	4,35

Le „Gonzen“ est le plus important gisement de fer des Alpes, et son exploitation remonte à une très ancienne date. On a trouvé récemment des hauts fourneaux romains à Heilig-Kreuz et des restes de vieilles forges sur les collines de Castels près de Mels, et de Burg près de Vilters. De vieilles scories ont donné une teneur en Fe. de 48 %. Les documents écrits les plus anciens datent du XIVe siècle. Encore à présent, il y a, dans la Grube I, des galeries qui n'ont été ouvertes que par massette et pointerolle, qui ont donc été déjà exploitées à cette époque reculée. D'anciens travaux (Grube II, étage supérieur) présentent même des traces de la méthode d'exploitation primitive au moyen du travail par le feu. Les propriétaires de la mine, les „Isenherren“, possédaient autrefois sur les forêts de Sargans des droits étendus et fort importants pour l'exploitation des mines, puisque les

Minerais de Manganèse	No. 4 Tout-venant Plons	No. 5 Grube I 4. Gal.	No. 6 Affleurement Grube I à Grube II
	%	%	%
$Si\ O_2$	4,41	0,75	0,93
$Al_2\ O_3$	0,88	0,06	
$Fe_2\ O_3$	3,93	9,70	21,40
$Fe\ O$	2,65	—	9,60
$Mn\ O$	43,83	4,38	40,44
$Mn\ O_2$	—	57,33	—
$Ca\ O$	9,75	8,75	—
$Mg\ O$	4,60	1,40	—
$P_2\ O_5$	0,23	—	—
$H_2\ O$	1,05	15,27	1,58
$C\ O_2$	28,01		25,27
Mn	33,8	40,0	31,4
Fe	4,8	6,7	22,4
P	0,1	—	—
Composition minéralogique			
Psilomélane	22	61	—
Rhodochrosite	35	7	67
Magnétite	4	—	32
Limonite	5	12	—
Gangue	34	20	1
Densité	—	2,78	3,66

fondeurs de fer changeaient de localité pour couvrir leurs besoins en charbon de bois (Vilters, Hädris, Flums, Murg, et enfin Plons). Un nombre considérable de documents du XVIe et du XVIIe siècle nous apprennent que les courtes périodes de prospérité ont toujours été suivies de profondes décadences. Etant donnée la longue durée d'exploitation du Gonzen, les quantités de minerais extraits ne sont pas considérables, ce qui autorise à affirmer que les périodes d'activité intense ont toujours été fort courtes. En 1823, la mine devint la propriété de la famille Neher, qui l'a conservée jusqu'à présent, et sous la direction de laquelle la mine fut exploitée assez activement, presque exclusivement dans les Gruben I et II, jusqu'à ce qu'en 1868 la baisse du prix du

fer forçât de suspendre le travail. De 1825 à 1868, un haut fourneau à charbon de bois a fonctionné sans interruption à Plons, et fournissait en moyenne 750 tonnes de fer brut par année. L'exploitation put être reprise en 1873. Jusqu'en 1876, un nouveau haut fourneau, fonctionnant au coke, travailla à Plons. Sa production moyenne en fer brut se montait à 800—900 tonnes par période de 200 jours, et l'extraction annuelle du minerai atteignait 2500 t. De 1873—78, l'équipe de mineurs s'élevait à 70—80 hommes.

D'après les plans présents, l'exploitation totale dans les Gruben I, II, III et IV s'élève à 35,000 m^3 de minerai, correspondant à environ 50,000 t. de fer brut, dont 40,000 t. pour la période de 1825 à 1876.

La reprise de l'exploitation est envisagée depuis une vingtaine d'années. La question géologique capitale est de savoir si les gisements de la Grube I, et ceux des Gruben II, III et IV, trouvent dans la montagne une continuation qui permette de les atteindre dans des conditions favorables à des niveaux plus bas. A ce sujet, il est très important de constater que, dans le territoire des Gruben II, III et IV, les couches de calcaires avec le gîte métallifère sont dirigées W-E et plongent fortement vers le sud en ondulations variées, tandis qu'au contraire dans la Grube I, elles sont dirigées N-S et plongent de 40° vers l'E. Cette position du flötz dans la Grube I a fait présumer qu'il se prolongeait à l'intérieur de la montagne, vers la vallée du Rhin, de telle façon qu'il serait possible de l'atteindre à des altitudes inférieures en perçant vers l'ouest un travers banc à partir de la pente orientale de la montagne. En effet le profil géologique nous montre que, dans l'intérieur de la montagne, à 350 m. à l'est du fond de la Grube I, le flötz devait se trouver à l'altitude de 1000 m, de sorte qu'il pouvait être atteint à partir de „*Naus*“ par un travers banc de 300 à 400 m dirigé vers l'ouest.

En été 1917, sous les auspices de la „Studien-Genossenschaft: Gonzen-Syndikat, Sargans“, les travaux ont été repris et le travers banc de „*Naus*“ fut commencé. Son embouchure se trouve à 1000 m. d'altitude, à 700 m. à l'est de la Grube I, et sa direction est N 65° W. Sur 60 m, le travers banc traversa les marnes du Portlandien plongeant de 50° vers l'ESE, puis il entra dans les calcaires feuilletés et parfois marneux du Quintnerkalk supérieur et en janvier 1918 on rencontra le flötz à 355 m. de l'entrée. A partir de ce point le flötz fut suivi par une galerie montante de

50 m. dans la direction vers WSW, et par une galerie horizontale en direction de 390 m vers le nord, le nord-ouest et l'ouest. La position des couches et la composition minéralogique du flötz, ici et dans la Grube I, sont identiques. Dans la galerie „Naus“ nous nous trouvons en effet à une distance de 500 m. de la base de la Grube I. Dans la dite galerie, le flötz, plongeant en concordance avec le calcaire de 30° vers l'ENE, possède une puissance moyenne 1,5 à 2 m., et sa teneur en Fe est de 50 % en moyenne. A 50 m du travers banc p. ex. le flötz a une épaisseur de 2 m. et dans sa moitié inférieure il contient 13,30 % de Fe, tandis que la moitié supérieure a une teneur de 52,75 % de Fe. Au toit du flötz, le calcaire est marneux et schisteux, tandis qu'au mur il forme de gros bancs compacts, et, à proximité du minerai, il est imprégné d'oxyde de fer constituant le „Melierter Berg“, qui forme le passage du calcaire au minerai. Au toit, au contraire, le minerai riche en Fe se sépare nettement du calcaire marneux et schisteux.

Pendant les 100 premiers mètres, la galerie de direction court dans le flötz, dirigé vers le nord. A partir de là, la direction du flötz oblique en ondulant vers le NW, puis vers l'W et enfin vers l'WSW. Entre 100 et 300 m., la galerie a quitté le flötz, et en suit le toit. Le flötz est attaqué par 6 courts travers bancs partant de la galerie vers l'intérieur de la montagne. A 300 m., où le flötz est de nouveau coupé par la galerie même, son caractère normal s'est altéré. A son mur apparaît une couche de magnétite, et sur une longueur de 37 m., la masse principale du flötz consiste en rhodochrosite et en oxydes de manganèse. Ces minerais de manganèse buttent à 337 m. contre une faille dirigée NE-SW; au delà, la galerie poursuivant sa direction W30°S encore sur 54 m. de longueur n'a traversé que des calcaires massifs stériles, dans lesquels s'intercale, à 375 m., du „Melierter Berg“. Ayant ainsi perdu le minerai, on partit, au point 350 m. de la galerie, à angle droit vers le N30°W pendant 55 m. de longueur. Cette nouvelle galerie traversa jusqu'à 45 m. du calcaire massif. Ici une faille, dirigée de même NE-SW et plongeant vers le SE, met en contact avec ce calcaire massif des calcaires foncés, marneux et schisteux, dans lesquels se présente de nouveau un flötz en position redressée, formé de magnétite et de fer oligiste.

Pour la prospection des minerais de fer, la méthode magnétométrique, employée surtout en Suède, s'est montrée

très utile, de sorte qu'il était indiqué d'examiner le gisement du Gonzen aussi à l'aide du magnétomètre Thalen-Tiberg. Mais le fait que le minéral principal de son flötz est l'Hématite, qui ne réagit guère sur l'aimant, ne permet qu'un emploi restreint de cette méthode dans le gisement du Gonzen. Elle ne peut guère y être employée avec chance de succès que dans les zones ou le flötz consiste en magnétite mêlée aux oxydes de manganèse où au fer oligiste. Dans la galerie *Naus*, les amas de magnétite qu'on trouve dans la région des deux failles influencent en effet le magnétomètre à une distance de 50 m. de l'affleurement; les déviations horizontales varient entre -1^0 et $+1^0 30'$; la déviation verticale de l'aiguille compensée (intensité verticale) atteint par places $+3^0$. Ces expériences prouvent donc qu'il est possible de signaler la présence d'amas de magnétite dans le flötz du Gonzen par la méthode magnétométrique.

D'après la structure géotectonique du Gonzen, il est évident que le flötz découvert sur une longueur de 300 m. par la galerie en direction de „Naus" constitue la continuation de celui de la Grube I. Dans la région de la Grube I, le flötz paraît être limité vers le NW par une faille dirigée NE-SW. C'est la continuation de cette faille vers le NE qui limite de même le flötz dans la galerie Naus vers le NW, au point 300 m du travers banc. — L'interprétation tectonique du gisement trouvé le long de la faille au fond de la galerie transversale qui quitte à 350 m. la galerie de direction, ne peut être donnée d'après l'état actuel du travaux.

La rencontre du flötz de la Grube I par la galerie Naus au niveau de 1000 m., c. à. d. 250 m. au-dessous du fond de celle-là, constitue un succès considérable pour la reprise de l'exploitation minière au Gonzen. L'étendue du flötz intact entre ces deux niveaux peut être évaluée à 90,000 m^2. En admettant une épaisseur du flötz de 1,50 m. en moyenne, nous obtenons 100,000 à 150,000 m^3, soit 400,000 à 600,000 tonnes de minerai, livrant 200,000 à 300,000 tonnes de fer.

Le flötz syngénétique de fer oligiste, non oolithique, dans le malm du Gonzen est une particularité notable. Dans le Hochgebirgskalk des Alpes, nous ne trouvons l'indication d'un gîte analogue que dans les Alpes bernoises. Dans le malm du *Welli-Grat* au-dessus de *Rosenlaui*, à 2500 m. d'altitude, 3 couches superposées de fer oligiste, ayant de 1 à 2 m.

d'épaisseur, ont été entamées au moyen d'anciennes fouilles. (V. aussi p. 172).

b) Dogger. 1. Erzegg-Planplatten et Chamoson.

Un équivalent du „fer sous-oxfordien" du Jura se rencontre dans les régions centrales et occidentales des Alpes suisses. Dans la zone qui s'étend d'Engelberg à Brienz et au Grand Muveran, le malm inférieur est développé sous le facies des schistes oxfordiens comme dans le Jura bernois. A deux endroits, à *Erzegg* et à *Planplatten*, au nord du Gental (Cantons d'Unterwald et de Berne), et à *Chamoson* en Valais, les horizons inférieurs des schistes oxfordiens et surtout le Callovien qu'ils recouvrent contiennent des couches et des lentilles de minerai de fer oolithique, dont un des constituants caractéristiques est un silicate de FeO, la Chamosite. Les deux gisements ont été exploités.

Celui d'*Erzegg-Planplatten* affleure, à 2300 m. d'altitude, sur une longueur d'environ 3 km. dans le versant nord du Gental. Erzegg est sur Unterwald, Planplatten sur Berne. On y constate une série de lentilles de minerai et des schistes calcaires ferrifères que recouvre directement un puissant système de schistes gris feuilletés de l'Oxfordien. Au mur de la zone contenant le flötz apparaissent des phyllites noires, micacées, reposant elles-mêmes sur une puissante formation de calcaires spathiques et siliceux. Le minerai lui-même contient l'ammonite *Macrocephalites macrocephalus*. Les couches sont dirigées SW—NE et plongent de 20° à 30° vers le NW. Erzegg et Planplatten représentent deux zones de minerai séparées en direction par un intervalle d'environ 1000 m., et l'on peut constater que les diverses lentilles de minerai s'amincissent et se perdent, soit en direction, soit en plongement.

A Planplatten les minerais exploitables passent peu à peu à des calcaires à échinodermes ferrifères. Les relevés géologiques fournissent sur la quantité du minerai présent les données et les présomptions suivantes:

A. Gisement de Erzegg.

Longueur constatée en direction (WSW-ENE)	1600 m.
Largeur constatée en plongement	200 m.
Epaisseur moyenne	1,5 m.
Volume du minerai	480,000 m³
Poids du minérai (3 × 480,000)	1,440,000 t.
Poids du fer à extraire (30 %)	432,000 t.

B. Gisement de Planplatten.

Longueur constatée en direction (WSW-ENE)	700 m.
Largeur maximale présumée en plongement	200 m.
Epaisseur moyenne	2 m.
Volume du minerai	280,000 m^3
Poids du minerai (3 × 280,000)	840,000 t.
Poids du fer à extraire (30 %)	252,000 t.
Total du minerai des deux gisements	2,280,000 t.
Total du fer des deux gisements	684,000 t.

Les plus anciennes mentions concernant l'exploitation des mines d'Erzegg et de Planplatten remontent jusqu'en 1416. La ville de Berne entra ensuite en possession de tous les droits de régale sur le Hasli. Les minerais extraits sur territoire bernois furent fondus d'abord à Unterwasser, plus tard à Mühlethal; les Unterwaldiens possédaient un haut fourneau dans le Melchthal. La consommation en bois du haut fourneau de Mühlethal était très considérable, atteignant près de 1000 Klafter par an. La teneur élevée en phosphore causait de grandes difficultés dans les opérations. De 1631 à 1728, la mine fut entre les mains du district du Hasli. Le gouvernement bernois s'efforça toujours d'assurer l'exploitation, soit en la donnant à bail à des conditions avantageuses, soit en l'exploitant lui-même. Finalement, l'exploitation fut suspendue en 1813 et l'état de Berne et le district du Hasli se partagèrent la propriété de la mine. A Planplatten comme à Erzegg, on ne pratiqua jamais que l'exploitation à ciel ouvert, et la quantité totale de minerai extrait ne doit guère avoir dépassé 6000 t. En 1900 l'Etat de Berne accorda une concession pour l'exploitation du gisement de minerai de fer du district du Oberhasli.

Le gisement de minerai de *Chamoson* se trouve sur le flanc sud-ouest du Haut de Cry à 1900 m. d'altitude. Le versant nord-ouest de la vallée de la Losence, très abrupt, est formé par une puissante masse de calcaires et de schistes fortement plissés, qui présentent la série du crétaté jusqu'au dogger. La paroi abrupte est formée de Malm (Hochgebirgskalk) dont le calcaire massif passe vers le bas aux couches d'Effingen, schisteuses et feuilletées. Au-dessous de celles-ci apparaissent les calcaires grumeleux des Couches de Birmens-

torf. La base du malm est formée par des schistes argileux foncés de l'Oxfordien, dans les horizons inférieurs desquels apparaît la masse du minerai. Enfin au-dessous d'eux se trouve la puissante formation des calcaires siliceux du Dogger.

La plupart des auteurs considèrent le gisement comme un dépôt lenticulaire, un gros rognon de fer, dans les schistes inférieurs de l'Oxfordien. Les fossiles trouvés dans le minerai indiquent en effet le dogger supérieur (Callovien) ou le malm inférieur (Oxfordien). Il importe remarquer que, dans les environs du gisement de fer, des schistes oxfordiens et le callovien sont à découvert sur d'assez longues distances, à l'ouest du côté du Col de la Forclaz, à l'est au delà des Pouays jusqu'au Torrent de Cry, sans présenter des traces de minerai. Le gisement de minerai de fer de Chamoson apparaît ainsi comme une intercalation toute locale dans le malm inférieur et le dogger supérieur.

La masse de minerai qui affleure au flanc de la montagne à 1950 m. environ d'altitude, plonge avec les couches qui la recouvrent et qui la supportent d'environ 40° vers le SE, elle est ainsi à découvert parallèlement à son plongement dans toute son étendue, soit sur une longueur de près de 250 m. Un petit ravin sépare l'affleurement du gisement en deux parties, nord-ouest et sud-est, qui forment deux têtes rocheuses saillantes très visibles. Vers le nord-ouest, le gisement se perd clairement dans des schistes; vers le sud-est, son extrémité disparaît sous les éboulis.

La quantité visible de minerai peut être évaluée à 160,000 m^3, correspondant à 480,000 t. de minerai, ou 160,000 t. de fer. L'emplacement du gisement est fort défavorable à l'exploitation.

C'est en 1814 que le gisement de Chamoson a été exploité pour la première fois. Un haut fourneau existait à Ardon, où l'on apportait aussi la magnétite du Mont Chemin près de Martigny. La quantité de minerai extraite à Chamoson était en 1855 de 30,000 quintaux (416 m^3), en 1856 de 20,000 q. (280 m^3) et en 1867, un peu supérieure. En tout, on y a extrait environ 1500 m^3. Les minerais traités dans le haut fourneau d'Ardon contenaient 36 à 43 % de fer.

Au point de vue de leur composition minéralogique et chimique, les minerais d'Erzegg-Planplatten et ceux de Chamoson sont identiques, comme le montre le tableau suivant:

	A. Fer Sous-Oxfordien															B. Blegioolithe
	Erzegg								Planplatten				Chamoson			Urbachtal
	No. 1	No. 2	No. 3	No. 4	No. 5	No. 6	No. 7	No. 8	No. 9	No. 10	No. 11	No. 12	No. 13	No. 14	No. 15	No. 16
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
SiO_2 . .	11,75	37,76	16,45	21,20	14,50	21,06	34,25	46,20	13,00	15,45	10,30	15,63	13,70	6,60	26,00	15,85
TiO_2 . .	0,31	0,51	0,56	0,06	0,56	0,75	0,71	0,87	0,17	0,38	0,05	0,25	0,62	0,31	0,87	—
Al_2O_3 . .	4,19	6,10	5,93	4,15	16,56	13,29	11,71	14,20	3,35	8,21	0,68	7,67	9,04	5,27	14,50	10,15
Fe_2O_3 . .	10,13	13,09	24,91	2,84	8,84	12,38	3,21	1,46	2,28	5,27	0,41	16,21	15,15	24,76	2,03	40,48
Fe O . .	35,01	27,18	33,98	23,34	34,41	34,41	30,65	23,49	7,66	35,37	3,79	32,82	36,47	23,34	29,03	7,25
Mg O . .	2,64	2,35	2,31	3,25	1,85	2,81	3,24	2,68	1,59	3,49	1,13	2,62	2,26	0,97	3,67	3,45
Ca O . .	8,97	2,49	3,74	16,87	6,30	0,85	2,55	1,75	36,05	6,52	45,30	6,33	6,48	19,60	7,30	8,25
P_2O_5 . .	1,92	—	—	2,46	2,44	—	1,92	0,31	—	0,64	—	1,55	1,73	1,21	1,34	1,19
S . . .	0,24	—	—	0,11	—	—	0,40	0,28	0,44	0,44	—	0,17	—	—	—	—
CO_2 . . .	17,05	5,07	4,20	19,30	7,40	4,25	2,60	0,45	32,10	18,08	56,65	8,33	8,95	13,32	4,85	6,82
H_2O . . .	7,04	6,22	6,46	5,95	6,45	9,68	8,65	8,25	1,25	6,15	1,47	7,82	6,31	4,79	9,68	3,44
Fe . . .	34,3	30,3	43,9	20,1	32,9	35,4	26,1	19,3	7,6	31,2	3,2	36,9	39,0	35,5	24,0	34,12
P	0,83	—	—	1,07	1,06	—	0,83	0,13	—	0,27	—	0,67	0,75	0,53	0,58	0,51
Composition minéralogique . .																
Chamosite . .	19	29	28	18	60	63	56	66	7	37	3	38	42	22	66	27
Magnétite . .	15	19	37	4	14	18	5	2	3	8	1	23	22	36	3	—
Hématite . .	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	41
Sidérose . .	26	8	3	16	6	10	2	—	10	35	3	9	10	—	—	1
Calcite . . .	17	4	7	32	12	1	5	1	65	12	81	11	12	30	11	16
Quartz et Silicates	23	40	25	30	8	8	32	31	15	8	12	19	14	12	20	15
Densité . . .	3,32	2,95	3,27	3,05	3,29	3,03	2,99	2,91	2,76	3,19	2,71	3,24	3,9	3,5	3,6	

Le minerai, d'un gris-vert foncé, est oolithique et parfois spathique. On y découvre toujours des restes organiques, spécialement des échinodermes. Le minerai contient, en quantités variables: 1) des oolithes, consistant en un minéral chloritique, la Chamosite, dont la composition correspond à la formule: $2\,SiO_2 \cdot Al_2O_3 \cdot 3\,(MgFe)O \cdot 3\,H_2O$; 2) des grains et des cristaux de magnétite, accumulés surtout dans le voisinage des oolithes; 3) un ciment composé de calcaire, de sidérose et de limonite; 4) des éléments clastiques, surtout du quartz, en quantité variable. Des foraminifères (Ophthalmidies) participent à la structure des oolithes. — Des fissures du minerai massif sont remplies d'un minéral micacé caractéristique des minerais de fer, la Stilpnomélane.

Le minerai de fer est sans doute primaire, c'est-à-dire qu'il s'est déposé au fond d'une mer peu profonde sous l'influence d'organismes. Mais la structure originelle et la composition minéralogique du minerai ont été profondément modifiées par dynamométamorphisme. Par leur composition et leur teneur en fer, les minerais d'Erzegg-Planplatten et de Chamoson se rapprochent surtout des minettes lorraines. Là aussi, les minerais de fer sont surtout des oolithes calcaires, contenant de la Chamosite, dont la teneur en Fe atteint au maximum 42 % et en moyenne (d'après 17 échantillons) 33 %. La teneur en phosphore y est également assez haute.

2. Calanda — Vallée de Lauterbrunnen. L'équivalent stratigraphique du minerai de Herznach dans le Jura argovien est dans les Alpes la „Blegioolithe“ de la zone *Calanda—Lauterbrunnen.*

Les couches de la formation jurassique reposant en discordance sur les schistes cristallins du massif de l'Aar, sont développées, dans toute la zone qui va du Calanda jusqu'au fond de la vallée de Lauterbrunnen, sous le „facies argovien“. La couche supérieure du Dogger qui y apparaît, au mur des couches de Birmenstorf, est une oolithe du Callovien, épaisse de 2 à 15 m. Comme elle affleure à la Blegialp, au Glärnisch, on l'a appelée „Blegioolithe“. Cette Blegioolithe repose sur des schistes du Bathonien, épais de 8 à 10 m., à la base desquels apparaît une seconde oolithe ferrugineuse, qui se poursuit du Maderanertal jusqu'à Innertkirchen, avec une épaisseur maximale de 2 m. (Bifurcateoolithe). La Blegioolithe est un horizon très constant; il est toujours ferrifère, par places très riche en fossiles. Le fer y apparaît sous la forme de limonite et d'hématite, qui imprègne aussi bien les oolithes que

le ciment; les carbonates de fer paraissent y être plus rares. Les oolithes consistent en hématite et en Chamosite ou Chlorite. Très souvent les oolithes ont subi des transformations dynamométamorphiques; les oolithes sont étirées et la magnétite secondaire s'est formée. Le degré de recristallisation dynamométamorphique est souvent, dans la Blegioolithe, le même que dans le minerai d'Erzegg et de Chamoson. L'analyse n° 16 (v. p. 185) donne la composition chimique et minéralogique d'un échantillon de minerai de l'Urbachtal.

Aux endroits où la Blegioolithe est particulièrement imprégnée de fer, elle a été jadis exploitée. Aux alentours du confluent du Rhin postérieur et du Rhin antérieur, près de Reichenau, nous trouvons la Blegioolithe près de *Bonaduz*. Non loin de là, dans le Val Surda, on a fait quelques fouilles en 1868/69. Au Glärnisch, on a exploité sur la Guppenalp et près du lac du Klöntal; des hauts fournaux y sont signalés dès la seconde moitié du XVIe siècle et la première du XVIIe. Le versant sud des Windgälle présente deux mines au-dessus d'Oberkäsern, à 2000 et 2600 m. d'altitude. Le Maderanertal doit son nom à l'Italien „Madrano", qui, vers 1760, y exploitait le minerai. L'oolithe de fer fut encore exploitée au *Erzhubel* près d'Innertkirchen, et à la *Rothefluh* dans l'Urbachtal; on la traitait avec les minerais de Planplatten. Des deux côtés de la vallée supérieure de Lauterbrunnen, en amont de Stechelberg, la Blegioolithe est bien développée; le minerai a été extrait à „*Erzegg*" près de Rüti.

3. *Trias austroalpin des Grisons.*

Les sédiments dolomitiques du Trias et les grès du Verrucano sous-jacents, souvent intimement liés aux roches cristallines, sont métallifères dans les *Grisons* en plusieurs endroits. Les gîtes sont des amas (stockwerks) et mêmes des filons dans lesquels les minerais de fer s'associent à ceux de manganèse. Ces minerais oxydés sont souvent accompagnés de sulfures de Fe, de Pb, de Zn et de Cu. Ces gisements ne sont jamais syngénétiques, mais toujours d'origine adventive.

1. *Casanna près de Klosters.* Sur le flanc nord de la Casanna dans le Drostobel (feuille 419: Alte Eisengruben, Erzweg) on trouve de la limonite dans les fentes du Hauptdolomit. A 2100 m. d'altitude il y a une galerie éboulée, et plus haut encore on a exploité à ciel ouvert le remplissage

d'une fente sur 1 m. d'épaisseur et 50 m. de hauteur. La limonite y est accompagnie d'oxydes de manganèse, qui contiennent de 16 à 26 % de Mn.

2. *Mont Buffalora à l'Ofenpass* (Basse-Engadine). Au SW. de l'Ofenpass, les couches triasiques forment un anticlinal aplati s'étendant du NW. au SE. Dans le Hauptdolomit du Mont Buffalora (v. feuille 429: Ehem. Eisengrube), se trouvent de petits puits et des galeries abandonnés d'où l'on a jadis extrait des minerais de fer. Il s'agit ici d'une masse de limonite d'environ 300 m^3 encastrée dans le Hauptdolomit. Le Verrucano de l'Alpe Buffalora doit aussi contenir du fer.

3. *Val Tisch et Val Plazbi près de Bergün (Grisons).* Entre le Val Tuors et le Val Tisch, à l'est de Bergün, s'élèvent les schistes cristallins du Piz Frislas (2822 m.), le contrefort occidental du Piz Kesch. Ils sont déposés en forme de cuvette; leur bord sud plonge vers le nord, leur bord nord vers le sud. Au-dessous du gneiss reposent en position inversée les formations triasiques de Bergün, qui très probablement rejoignent celles du Val Tuors sur le flanc sud de la *Cima da Tisch*, en passant au-dessous de la couverture de gneiss du Piz Frislas.

Au sud et à l'est de la Cima da Tisch affleurent deux gisements de fer séparés: l'un sur le versant nord du Val Tisch (v. feuille 427: Alte Eisengrube), dans le calcaire triasique; l'autre sur la crête entre le Val Tisch et le Val Plazbi, dans les conglomérats du Verrucano.

a) *Mines du Val Tisch.* A plus de 2400 m. d'altitude sur le versant nord du Val Tisch, nous trouvons au mur du gneiss la série inversée des couches triasiques entre le Verrucano et les Bündnerschiefer. Tout le Trias, spécialement l'Arlbergkalk, est imprégné d'hématite, tandis qu'au toit le Verrucano et au mur les Bündnerschiefer sont stériles. La roche ferrifère est fortement désagrégée, ocreuse, et traversée par places de veines de minerai qui forment un filet à larges mailles. Les veines sont rapprochées les unes des autres, mais n'ont guère que quelques centimètres d'épaisseur. On y a exploité à ciel ouvert et creusé des galeries; celle qui s'ouvre à 2474 m. d'altitude traverse pendant 60 m. les couches du Hauptdolomit, des „Raiblerschichten" et de „l'Arlbergkalk" qui plongent fortement vers le N. L'exploitation est toute entière dans l'Arlbergkalk et atteignit une profondeur de 30 m. D'après 6 analyses, le minerai se compose de 85

à 97 % de Fe_2O_3 et contient 60 à 68 % de Fe et 0,5 % de Mn.

b) *Mines sur la crête Val Tisch—Val Plazbi.* Au sud du Murtèl da Lai, le Verrucano à gros grains et riche en quartz est traversé par un réseau de veines d'hématite. Il s'y trouve aussi une couche de sidérose de 130 m. de longueur sur 4 m. d'épaisseur. Sur la crête et sur le flanc est de l'arête, au sud du Murtèl da Lai, il y a des travaux assez étendus et une galerie éboulée. Un échantillon de minerai contenait 81 % de Fe_2O_3 (Fe = 56 %).

Des gisements de minerai de fer analogues, mais moins étendus, ont aussi été constatés dans les environs de *Filisur* et de *Bellaluna.*

Les minerais du *Val Tisch* ont été surtout fondus à Bellaluna, où un haut-fourneau a fonctionné jusqu'en 1850. Les premières exploitations y remontent au milieu du XVIe siècle. La production annuelle des années 1833 à 1835 atteignit au plus 3500 quintaux. La production totale ne doit pas dépasser 1700 m^3 de minerai, soit 300 t. Quelques wagons ont été exploités dernièrement dans le Val Tisch.

4. *Avers.* La vallée d'Avers qui, près d'Andeer, se détache de la vallée du Rhin postérieur dans la direction du sud, traverse les roches cristallines du massif de la Suretta. A l'est du Splugen et au nord de „Inner-Ferrera", toute la masse de la Suretta consiste en porphyre quartzifère schisteux, nommé „gneiss de Rofna". Il est recouvert par des calcaires triasiques et des schistes lustrés jurassiques avec intercalations ophiolitiques. Sur le versant oriental de la vallée d'Avers, la couverture des porphyres de Rofna est formée par les sédiments de l'Averser Weissberg, du Piz Starlera et du Piz Curver; sur le versant occidental, entre le Val Ursera au N. et Valle di Lei au S., les gneiss contiennent quatre coins d'étroites bandes calcaires dirigées SW-NE. — Les minerais de fer apparaissent toujours comme des intercalations concordantes, aussi bien dans les calcaires que dans les porphyres schisteux au voisinage immédiat des calcaires. Les minerais contenus dans les calcaires sont surtout des quartzites lités imprégnés de fer oligiste; par places (Starlera, Piz Mazza), il se développe des limonites massives, présentant parfois des passages à des minerais manganésifères. Dans les gneiss on trouve de la sidérose et des mélanges de fer oligiste et d'hématite.

Nous mentionnons les anciennes exploitations suivantes:

a) Gisements dans le Calcaire.

Alp Schmorras. Sur l'arête du Piz Alv et son prolongement nord entre l'Alpe Moos et l'Alpe Schmorras, les calcaires cristallins et les quartzites du Trias contiennent du fer à plusieurs endroits entre 2600 et 2800 m. d'altitude, et renferment des gisements de quartzites ferrifères de quelques mètres de longueur sur 1 2 m. de puissance; leur teneur en Fe_2O_3 est de 18,43 % (= 13 % Fe).

Versant sud du Piz Starlera. L'ancienne „Eisengrube Starlera", située à 2320 m. d'altitude (v. feuille 506), consiste en une exploitation à ciel ouvert de 10 m. de largeur et de 25 m. de profondeur. Le profil des couches contenant le gisement de minerai est le suivant, en allant du mur au toit: 1) Au-dessus du porphyre de Rofna, des calcaires triasiques du Piz Mazza. 2) Porphyres fortement comprimés et feuilletés (5 m.). 3) Calcaire triasique (1 m.). 4) Gisement de minerai (10 m.). 5) Calcaires triasiques recouverts des schistes lustrés du Piz Starlera. — Les couches sont dirigées à peu près N-S. et plongent de 20—50° vers l'E. Le minerai de fer est un fer oligiste quartzeux feuilleté, qui, à l'intérieur de la mine, est recouvert d'un minerai de fer massif, d'un brun noirâtre, contenant du manganèse, (2 m.), et de Psilomélane (1.5—2 m.). Les anciens travaux ont exploité surtout le fer oligiste, tandis que par les nouvelles fouilles on a recherché surtout le minerai de manganèse.

Versant nord du Piz Mazza (Fianellgruben). Le gisement apparaît également en entier dans le calcaire et plonge de 20° au NE. Le minerai a été exploité à ciel ouvert sur une épaisseur de 10 m. environ et une longueur de 90 m. C'est un quartzite ferrifère en couches minces, contenant 31 % de Fe_2O_3 (= 21,8 Fe). Il s'y trouve aussi des minerais de limonite massive renfermant 36 % de Mn.

Au *fond du Surettatal*, le coin de calcaire montant vers le sommet du Surettahorn contient des couches d'imprégnations d'hématite.

Sur *l'Alp Tambo,* à l'ouest de la route du Splügen, le calcaire triasique contient des nids de sidérose, qui ont été attaqués à ciel ouvert.

b. Gisements dans le Porphyre de Rofna.

Alp Sutt Foina. Sur le versant nord du Piz Grisch (Fianell), à environ 2200 m. de hauteur, le gneiss de Rofna contient une couche de 20 m. d'épaisseur qui renferme des nids de carbonate de fer. Le gisement de minerai est attaqué sur environ 100 m de longueur. Des échantillons riches contiennent jusqu'à 56 % de Fe CO_3 et 11 % de Fe_2 O_3 (= 33,5 % Fe).

St Martin et Mutalla Sura. Les mines de fer les plus importantes de l'Avers, s'étendent, presque toujours à ciel ouvert, de St Martin à Mutalla Sura sur le versant occidental de la vallée. Il s'y trouve dans le porphyre de Rofna un coin de calcaire d'environ 300 m. de puissance, plongeant de 40° vers le NE. Les minerais apparaissent au nord du calcaire dans le toit du gneiss de Rofna qui accompagne le calcaire. Des gisements d'hématite atteignant 5 m. d'épaisseur commencent près de „Ehemalige Eisenschmelze" et se poursuivent vers le SW le long du flanc de la montagne jusqu'à 2200 m. d'altitude. Un échantillon typique du minerai de St Martin contient 77 % de Fe_2 O_3 (= 54 % Fe).

Alp Samada. Le gisement apparaît sur le versant oriental de la vallée, vis-à-vis de St Martin, à environ 250 m. au-dessus de la rive droite, au contact du calcaire et du porphyre de Rofna qui le recouvre, avec un plongement vers le NE de 30° environ. Il forme le prolongement vers l'orient du gisement de St Martin. La zone minéralisée a en moyenne 2—3 m. d'épaisseur. Les minerais sont en partie de la sidérose riche en quartz ($FeCO_3$ 27 %, Fe_2O_3 5 %; Fe 17 %), en partie des roches à silicates contenant de l'hématite et de la magnétite (Fe_2O_3 24 %, Fe_3O_4 34 %; Fe 41,5 %).

Enfin le porphyre de Rofna contient des gisements d'hématite dans le *Val Sterla*, au-dessus d'Inner-Ferrera, à 1900 et 2100 m d'altitude.

Le tableau suivant donne les résultats des analyses de minerais de l'Avers.

	A. Gisement dans le Calcaire	B. Gisements dans le Porphyre de Rofna.			
	No. 1 Starlera	No. 2 Sutt Foina	No. 3 St. Martin	No. 4 Alp Samada	No. 5 Alp Samada
	%	%	%	%	%
$Si\ O_2$ . .	66,85	10,66	6,45	51,65	35,60
$Al_2\ O_3$ . .	1,01	3,01	4,26	2,76	5,60
$Fe_2\ O_3$ . .	32,09	10,26	76,80	5,02	46,55
$Fe\ O$ . .	—	33,69	—	17,17	11,20
$Mn\ O$ . .	—	—	—	1,81	—
$Ca\ O$ . .	—	2,40	4,70	2,40	traces
$Mg\ O$ . .	—	5,47	—	—	—
$C\ O_2$ . .	—	32,59	5,15	16,06	0,65
Teneur en Fe	22 %	33 %	54 %	17 %	41 %
Teneur en Mn	—	—	—	1,4 %	—

Quant à la composition minéralogique de ces minerais, nous trouvons que le minerai du calcaire de Starlera n'est que de l'hématite, tandis que celui des gîtes dans le porphyre est formé par les minéraux suivants:

	Hématite	Sidérose	Braunspath	Magnétite	Psilomélane
	%	%	%	%	%
Sutt Foina (2)	16	84	—	—	—
St. Martin (3)	90	—	10	—	—
Alp Samada (4)	14	80	—	—	6
Alp Samada (5)	40	3	—	57	—

Rappelons que dans la mine Starlera il se trouve à côté de l'Hématite des minerais de manganèse.

Nos plus anciens documents sur les mines de fer de l'Avers datent du XVIIe siècle. Le déboisement excessif de la vallée obligea à transférer en 1739 le haut fourneau à Sils dans le Domleschg, où il fut détruit en 1762 par une inondation. De 1806 à 1845, les minerais de l'Avers furent exploités par une maison lombarde, ayant des hauts fourneaux à Suors et à Andeer. Depuis 1845 les travaux ont été suspendus jusqu'en 1918, où l'on attaqua les minerais manganésifères de Starlera.

4. *Calcaires cristallins du Valais.*

On trouve en Valais deux catégories de calcaires cristallins métamorphiques, contenant par places des minerais. D'un côté, dans les Alpes pennines, ce sont des calcaires nettement triasiques, à la base des schistes lustrés; d'autre part, ce sont des bandes de marbre, plongées en concordance dans les gneiss des massifs du Mt Blanc et des Aiguilles-Rouges, et dont l'âge est encore contesté.

1. *Rosswald près de Bérisal et Feldbach dans la vallée de Binn.* Au bord sud de la puissante zone des schistes lustrés du Haut-Valais apparaissent de longues bandes de calcaires triasiques au toit des gneiss. Au NE de Binn dans le *Feldbach*, à 2400 m. d'altitude, ces calcaires contiennent à l'endroit dit „Ehemalige Eisengrube" (feuille 494) de la sidérose, de la magnétite, de l'hématite et de la limonite qui se trouvent amassées sur l'ancienne halde de déblais.

A *Rosswald*, au nord de Bérisal, nous trouvons, de la hauteur de Rosswald au N vers la Ganter au S, la coupe suivante: 1. schistes lustrés de la Bedrettomulde; 2. calcaires triasiques; 3. Eistengneiss (100 m.); 4. marbre triasique; 5. schistes lustrés de l'Eistenmulde (200 m.); 6. marbre triasique et 7. Gantergneiss. A l'intersection du marbre triasique et du bisse „Bergwasser" (alt. 1940 m.), le marbre contient sur une longueur d'environ 300 m. des imprégnations de magnétite grenue, atteignant jusqu'à 4 m. de puissance. Il y a environ un demi-siècle, on y a creusé une galerie qui a suivi en direction la lentille sur 22 m. de longueur. Le poids du minerai extrait doit s'élever à 30 t. environ, qui furent transportées par le col du Simplon.

2. *Mont Chemin* près de Martigny.

a) Position géologique. Le Mont Chemin, à l'est de Martigny, forme au N de la Drance l'extrémité orientale du massif du Mont Blanc. Les schistes cristallins en position très redressée sont dirigés N 40°—50° E et plongent de 80° vers le SE. Sur une largeur de 5—6 km., nous trouvons du NW au SE: 1° des gneiss séricitiques et chloritiques; 2° de la protogine; 3° des gneiss séricitiques traversés par des filons de porphyre, et contenant des lentilles d'amphibolites. — La zone occidentale des gneiss (1°) au mur de la protogine, contient, près de son contact avec elle, plusieurs bancs de marbre avec des lentilles de skarne et de magnétite. Nous trouvons ce minerai dans le „Couloir Collaud" au-dessus de

la vallée de la Drance, puis sur le dos aplati du Mont Chemin, à „chez Large“, ensuite près des „Planches“, et dans une zone séparée à 750 m. au nord de „Vence“.

Dans le „Couloir Collaud“, on constate deux bandes de marbre courant parallèlement à 35 m. environ de distance.

Au marbre se substituent par place des agrégations d'amphibole, d'épidote, d'idocrase et de stilpnomélane. La magnétite s'associe à elles et constitue jusqu'à 80 % de la masse. — A „chez Large“ aussi, les silicates avec le minerai de fer sont liés à plusieurs bancs de marbre; on peut en compter quatre courant parallèlement dans la direction N 40°—50° E avec un plongement de 60° SE. Celui du nord-ouest était sûrement le plus riche en minerai, et dans son prolongement nord-ouest se trouvent plusieurs puits éboulés. Dans les gisements orientaux, le minerai est encore visible dans des galeries. — Aux „Planches“ nous trouvons le prolongement nord-est de la zone de marbre et de minerai „Couloir Collaud-chez Large“; on y a exploité un rognon massif de minerai de 30—40 m. de longueur sur 3—4 m. d'épaisseur. Son plongement était de 25° vers le S.

b) Nature du minerai. Dans le marbre apparaissent en bandes des silicates de Ca, Mg et Fe (l'épidote, l'amphibole et l'idocrase,) auxquels s'associent de la magnétite et de l'apatite. Cette roche métamorphique est une „skarne“, roche caractéristique des gisements de magnétite en Suède. Les silicates les plus fréquents parmi lesquels s'enrichit la magnétite sont l'amphibole, la stilpnomélane et l'épidote; il se forme ainsi tous les passages entre la skarne et le minerai proprement dit. La skarne, dans laquelle le fer existe en majeure partie à l'état de silicate, contient de 24 à 27 % de Fe et a une densité de 3,37, tandis que le minerai proprement dit, formé principalement par la magnétite, montre une teneur en Fe de 53 %, correspondant à une densité de 4,04.

c) Prospection magnétométrique. Dernièrement on a examiné le gisement du Mt Chemin au moyen du magnétomètre Thalen-Tiberg (v. p. 181). La répartition des intensités verticales négatives et positives confirme les résultats de l'examen géologique au sujet de l'extension du marbre contenant le minerai. Dans la zone de 2 km. de longueur comprise entre le bord de la Drance à 1 km. en amont de Bovernier et les „Planches“, en passant par le „Couloir Collaud“ et „chez Large“, on a fait les mensurations sui-

vantes: 1. Dans le cône d'éboulis au pied du „Couloir Collaud", à 100 m. au N de la Drance, on constata, dans une zone de 30 m. de largeur, des déviations de — 0° 30′ à + 2°. — 2. Dans la région des anciennes galeries et fouilles, dans le „Couloir Collaud" même et jusqu'à la route de Chemin à Vence, le champ des déviations, courant parallèlement au gisement, a de 20—50 m. de large, et la composante verticale de l'intensité magnétique varie entre — 5° et + 8°. — 3. A „chez Large", le champ magnétique cesse immédiatement au NW et au SE tout le long des affleurements et des anciennes exploitations; par contre, sur une longueur de 200 m. au nord-est des maisons de „chez Large", des déviations de + 5°, + 7° et + 3° indiquent la présence d'un gisement inconnu jusqu'à présent. — 4. Au nord-est du gisement de „chez Large, où manquent des affleurements, le magnétomètre indique une zone stérile de 800 m., et aux Planches, à l'endroit d'anciennes fouilles, il accuse de nouveau des déviations allant jusqu'à 2° 30′. 5. Une centaine de mètres plus au NE, près de la dépendance de l'hôtel du Vélan, le magnétomètre indique un second gisement nouveau par des déviations maxima de — 16° à + 39°.

d) Exploitation. Les concentrations de magnétite dans la skarne constituant un excellent minerai, on comprend qu'on ait dès longtemps exploité le gisement du Mt Chemin. Les Romains y travaillèrent déjà; preuve en soit les monceaux de scories près du village de Chemin, et d'anciennes galeries pratiquées au travail par le feu.

Le gisement fut exploité dès le début du 19e siècle par „diverses sociétés, mais toutes ont éprouvé des pertes." A cette époque, on fondit certainement aussi la skarne pauvre en magnétite. Les galeries du „Couloir Collaud" et de „chez Large" ont été creusées entre 1851 et 1861, et ont livré 50,000 quintaux (670 m³) de minerai. Près des „Planches", on avait découvert un amas isolé de minerai qui, exploité en entier entre 1842 et 1855, fournit 200,000 quintaux, soit 2700 m³ de minerai.

Les minerais du Mont Chemin étaient autrefois traités aux Valettes, plus tard ils furent fondus à Ardon avec ceux de Chamoson. — La nature géologique du gisement du Mt Chemin ne permet guère une estimation de la quantité du minerai exploitable. On a constaté l'existence de la zone des marbres avec la skarne sur une longueur de 2 km., une puissance de 100 m. et une profondeur de 600 m., ayant un

volume de 10 millions de mètres cubes. La skarne forme environ le dixième du marbre, soit 1 million de m^3; le minerai lui-même ne constitue qu'un dixième de la skarne, soit 100,000 m^3, disséminés en lentilles dans les 10 millions de m^3 de marbre. Nous aurons donc dans le Mt Chemin 400,000 t. de minerai d'une densité de 4 et avec une teneur en Fe de 50 %, rendant 200,000 t. de fer brut.

II. Minerais de manganèse.

Les minerais de manganèse en Suisse apparaissent tantôt, en divers lieux, liés aux oxydes de fer, tantôt, dans les Grisons, comme formation toute spéciale, associés à des schistes rouges jaspoïdes (radiolarites).

A. Des minerais de manganèse associés à des minerais de fer oxydé se rencontrent dans différents gisements dont nous avons déjà parlé: a) Le minerai pisolithique de l'Eocène près du *Lac d'Anthémoz*, à la *Dent du Midi*, est accompagné par des variétés massives, qui renferment jusqu'à 5 % de Mn. (V. p. 174). b) Au *Gonzen* (V. p. 174—181), au flötz de fer oligiste se substituent des amas de magnétite, auxquels se joignent les minerais de manganèse: la psilomélane et surtout la dialogite (rhodochrosite). Des amas riches en minerais de Mn se rencontrent dans les parties supérieures de la Grube I et dans la Grube II. Au fond de la nouvelle galerie de „Naus“, à proximité de la grande faille, des minerais de manganèse et de la magnétite se substituent au flötz normal de fer oligiste sur une longueur de 37 m. La composition chimique et minéralogique des minerais de Mn du Gonzen est indiquée à la page 178. c) Dans les calcaires du Trias austroalpin des Grisons, le manganèse s'associe aux amas de substitution constitués de fer oxydé. Ainsi la limonite de la *Casanna* près de Klosters, qui a été entamée par une fouille au Drostobel, est accompagnée par un minerai contenant jusqu'à 26 % de Mn. (V. p. 187) — Dans *l'Avers* aussi on a tenu compte dernièrement de l'association de minerais de Mn et de minerais de Fe. (V. p. 189—192). C'est surtout sur l'alpe *Starlera* qu'on a repris l'exploitation en vue du manganèse. Au toit d'une lentille de minerai de fer oligiste, on y trouve, au fond de la fouille, des minerais d'oxydes de manganèse d'une puissance de 4 m. La partie inférieure de ce banc ne contient que 2 à 7 % de Mn, tandis que

dans les parties supérieures la teneur en Mn augmente de 25 à 50 %. Des relations analogues entre minerai de Fe et minerai de Mn ont été signalées dans d'autres gisements de l'Avers. Avec les schistes de fer oligiste dans le calcaire du *Piz Mazza* (Fianellgruben), on trouve des minerais de Mn contenant 36 % de Mn, tandis que le minerai de la mine *Alp Samada* ne contient que 6 % de psilomélane à côté de 80 % de sidérose et de 14 % d'hématite. — A l'W. de la route du Splügen sur l'alpe *Danatz*, on a trouvé parmi les éboulis de calcaires, de gneiss et de porphyre, des blocs de fer oligiste et de minerais de manganèse. Le minerai de manganèse se présente sous forme de blocs, dont la croûte d'altération noire consiste en psilomélane, tandis que l'intérieur rose est formé par un agrégat de rhodonite ($MnSiO_3$) et de spessattine $(MnCa)_3Al_2Si_3O_{12}$). L'emplacement primitif de ces blocs n'est pas connu, il est de toute probabilité que le minerai provient d'un amas dans le calcaire triasique, intercalé entre les gneiss du Tambo et les porphyres de la Suretta. En automne 1918 on a exploité sur l'alpe Danatz 10 ts. de minerai de Mn.

B. Minerais de manganèse dans des schistes rouges jaspoïdes. Dans l'„Oberhalbstein", la pente orientale de la vallée est formée par un système de schistes calcaires et siliceux, qui contiennent des ophiolites. Ce système compliqué est surmonté vers le sud par le granit du Piz d'Err et par le verrucano de la Cima da Flex, vers l'est par le trias austro-alpin de la chaîne P. Michel, Tinzenhorn, P. d'Aela. L'âge stratigraphique des schistes avec ophiolites est jurassique, et ils sont attribués à la „nappe rhétique". Les oxydes ainsi que les silicates de manganèse sont intimement liés à des schistes rouges jaspoïdes, qui accompagnent les ophiolites. Nous trouvons une concentration progressive du manganèse dans les jaspes stratifiés, que l'on explique par des vases à radiolaires transformées, comparables aux dépôts actuels manganésifères pélagiques et terrigènes de mer profonde. — Le gisement typique et le plus important est celui de *Parsettens* dans le val d'Err. Sur le versant SE du Carungas, à la hauteur de 2200 à 3400 m. une série de schistes rouges jaspoïdes d'une puissance de 150 m. environ, plongeant normalement vers le NW, renferment une quantité de lits manganésifères ayant jusqu'à 4 m. d'épaisseur. Des déplacements superficiels se constatent surtout dans les parties nord du gisement, au-dessus du val d'Err où se trouvent les exploi-

tations. On constate tous les passages entre les schistes jaspoïdes stériles et les variétés riches en psilomélane et contenant jusqu'à 60 % de Mn. Un autre gisement de moindre importance est connu à la *Falotta*, au-dessus de l'alpe digl Platz à 2225 m. de hauteur, au SE de *Roffna*. Des schistes calcaires et jaspoïdes d'une épaisseur de 30 à 40 m. sont intercalés entre spilites et serpentines. Le minerai forme des lentilles et des rognons atteignant jusqu'à 1 m^3, entourés de schistes rouges jaspoïdes. A côté de la psilomélane, nous y trouvons des agrégats d'épidote, de piémontite et de zoïsite. — Dans la forêt au-dessous des maisons de l'alpe *Digl Platz*, au milieu d'un amas de gros blocs de calcaires, de serpentine et de schistes jaspoïdes, se trouvent des blocs de minerais de manganèse de 0,5 à 15 m^3. Le constituant principal du minerai est de nouveau la psilomélane, accompagnée de dialogite et de silicates de Mn. Enfin nous mentionnons le gisement de *Uigls*, où, sur le bord sud de la „série rhétique" de l'Oberhalbstein, au toit des calcaires triasiques de la Motta Palusa, une imprégnation manganèsifère se rencontre dans des schistes rouges jaspoïdes. —

Les minerais des gisements de l'Oberhalbstein sont des oxydes, du carbonate et des silicates de Mn à gangue siliceuse. Les oxydes noirs sont en majeure partie compacts et ne montrent que rarement des indications de cristallisation; c'est de la psilomélane et de la pyrolosite. La dialogite rose, spathique, se rencontre surtout à Digl Platz. Les silicates sont la rhodonite et la piémontite. Nous donnons les analyses de six échantillons (p. 199).

Les minerais de l'Oberhalbstein ont été pris par les anciens pour des minerais de fer, même la littérature scientifique de 1860 ne mentionne pas les minerais de manganèse. Ce n'est que vers 1880 qu'on a recherché le manganèse dans le gisement de Parsettens, où l'on a extrait 200 t. vers 1890; en 1892 on a livré 20 t. provenant de Digl Platz. — En 1917 on a repris l'exploitation à Digl Platz, où la masse des blocs fut complètement exploitée, rendant 678 t. de minerai. A Parsettens, les travaux ont de même été repris en 1917 et 1918. A l'endroit d'anciennes fouilles et galeries, on a exploité à ciel ouvert 50 vagons en 1917 et 105 en 1918. La teneur en manganèse du minerai brut a été de 20 à 38 %.

Des radiolarites avec minerais de manganèse analogues sont signalées au *Piz Lischanna* dans la Basse-Engadine.

	1 1904	2 1904	3 1916	4 1916	5 1915	6 1915
	Uigls	Parsettens	Parsettens	Alp digl Platz		
	%	%	%	%	%	%
$Si\ O_2$ . . .	39,70	13,80	18,20	13,95	7,15	7,05
$Al_2\ O_3$ . . .	0,18	5,81	6,05	15,25	8,88	8,86
$Fe_2\ O_3$ . . .	2,83	1,29				
$Mn\ O$ . . .	3,73	37,65	—	67,80	84,50	84,15
$Mn\ O_2$ . . .	50,30	36,08	74,09			
$Ca\ O$ . . .	0,65	1,60	—	—	—	—
$Cu\ O$ . . .	0,30	0,30	—	—	—	—
$H_2\ O$ . . .	2,30	2,70	0,50	0,60	—	—
	99,99	99,23	98,84	97,60	100,53	100,06
Mn	34,68	51,98	46,84	47,20	58,82	58,58

III. Minerais pyriteux de fer et d'arsenic.

Les gîtes de minerais pyriteux de fer et d'arsenic sont représentés en Suisse par des types très variés, mais nulle part ils ne se développent pour constituer des gisements d'une importance industrielle notable. Des imprégnations pyriteuses stratiformes accompagnent l'anthracite du Valais; on en trouve rarement dans des calcaires et des schistes mésozoïques. Dans les terrains cristallophylliens se rencontrent des fahlbandes et des filons de pyrite, de pyrrhotine ou de fer arsénical. La leucopyrite, pyrite arsénicale, contenant de l'or, accompagnée de silicates métamorphiques, forme une imprégnation dans le calcaire de Salanfe. Enfin des filons de pyrite aurifère, à gangue de quartz, traversent les gneiss du Simplon et du Tessin..

1. *Pyrites.* La pyrite ainsi que la marcasite sont généralement répandues presque dans toutes les sortes de roches, mais leur présence est ordinairement d'une importance secondaire et elles constituent rarement des masses exploitables.

a) Les sédiments marneux d'âge géologique très différent contiennent à certains endroits des concrétions de marcasite ($Fe\ S^2$) en forme de boules. — Des boules de ce genre se rencontrent par exemple dans les marnes de l'Hauterivien des Alpes fribourgeoises: près de *Javrex* dans le val Javroz, à

9 km. à l'est de Bulle, on a tenté l'exploitation, mais la quantité du minerai est insuffisante. Entre les calcaires spathiques de l'Hauterivien se rencontrent des marnes foncées, de 10 à 12 m. d'épaisseur, qui contiennent en deux lits de 40 cm., séparés par 1 m. de marnes stériles, les boules de marcasite. Un m^3 de roche contient 4—5 dm^3 de marcasite, c. à. d. 0,05 % vol.

b) L'Amône dans le Val Ferret (Valais). Sur le côté occidental de la vallée de la Drance (Val Ferret), les protogines du massif du Mt Blanc sont accompagnées d'une zone bordière composée de porphyres quartzifères schisteux, en contact avec la couverture sédimentaire mésozoïque. Près des chalets de l'Amône, au fond de la vallée, ces sédiments contiennent à leur base un gisement de pyrite de fer. A cet endroit, sur la pente du „Six niers", sur le flanc occidental de la vallée jusqu'à une altitude de 1900 m., une plaque de calcaire, plongeant de 60 à 70° vers l'est et épaisse de 50 m. environ, s'appuie au porphyre quartzifère schisteux qui constitue la masse de la montagne. Au mur de ce calcaire se trouvent environ 8 m. de schistes noirs et de calcaires spathiques grumeleux, appartenant au dogger (couches à Mytilus). Le toit immédiat du porphyre quartzifère est formé par un grès gris à gros grains, appartenant au lias. C'est à l'intérieur de ce système de couches que les pyrites apparaissent dans le calcaire, notamment à sa limite avec les schistes sous-jacents. Au bord oriental de la plaque de calcaire, les couches du calcaire présentent, en lentilles, des infiltrations de limonite qui s'est rassemblée surtout dans les parties du calcaire riches en coraux. Les schistes contiennent, outre la pyrite, de la galène; mais cette dernière apparaît de préférence dans le grès liasique et aussi dans le porphyre quartzifère sous-jacent.

Au pied de la plaque calcaire plongeant vers l'est, se trouvent des traces d'anciens travaux à ciel ouvert exploitant la pyrite et la limonite. — A 30 m. au-dessus du fond de la vallée, une ancienne galerie de 41 m. de long, dirigée W 12° N, traverse la plaque de calcaire, où elle rencontra plusieurs lentilles de minerai. — Du fond de la vallée, on aperçoit, très haut sur la paroi lisse de la plaque de calcaire, des traces d'anciens sentiers qui conduisaient aux embouchures des galeries qui ont évidemment traversé en travers bancs la plaque de calcaire jusqu'aux couches métallifères. — Au bord sud de la plaque de calcaire, l'érosion a mis à découvert tout le

profil des couches, du porphyre jusqu'au calcaire; à cet endroit, entre le fond de la vallée (1540 m.) et 1740 m., se trouvent 4 galeries qui suivent en direction vers le NNE la zone métallifère à la limite entre les schistes et le calcaire. Les schistes sous-jacents sont presque partout imprégnés de pyrite en bancs d'1 m. d'épaisseur maximale; les calcaires qui les recouvrent contiennent au contraire des nids de limonite. La galerie I (1640 m.) traverse le calcaire pendant 40 m. vers le N 12° E et a rencontré vers l'ouest des schistes contenant de la pyrite. — La galerie II (1680 m.), après avoir traversé 10 m. de calcaire en travers banc, a rencontré vers le NW les schistes où la pyrite est apparue à la paroi gauche après 17 m. de parcours. — La galerie III (1700 m.) suit pendant 70 m. vers le N 20° E la limite entre le calcaire et les schistes. C'est là qu'a eu lieu l'exploitation la plus importante; sur toute la longueur de la galerie, on a extrait en montant environ 400 m³, et à 45 m. de l'embouchure, on creusa un puits de 12 m. de profondeur, au fond duquel on pratiqua une nouvelle galerie d'extraction. — La galerie IV (1730 m.) a traversé pendant 6 m. une lentille de pyrite dans les schistes et est reliée avec la galerie III par un puits. — Dans les galeries décrites ci-dessus, les lentilles de minerai sont en général recouvertes de remblais ou d'éboulements. Sur les haldes de déblais on trouve des blocs de minerai de quelques décimètres de diamètre, ayant une densité de 4,01 correspondant à 38 % de teneur en S. La pyrite est verdâtre, en général d'un grain fin, et présente des traces de vitriolisation.

Au début du XIXe siècle déjà, la pyrite d'Amône fut, dit-on, exploitée pour la fabrication de l'acide sulfurique. Au milieu du siècle passé, alors que presque toutes les mines valaisannes aujourd'hui délaissées étaient en activité, le gisement de l'Amône paraît avoir été négligé. La plupart des galeries datent sans doute de la période de 1870—1880. Pendant un an et demi, la pyrite y fut exploitée par une maison bâloise pour la préparation du vitriol.

c) Dans le Valais, aux filons d'anthracite sont assez souvent associées des imprégnations de pyrite. Les couches d'anthracite de *Salins* près Sion (v. p. 93) et celles de *Tourtemagne* (v. p. 107) sont particulièrement riches en cristaux et en grains de pyrite disséminés dans sa masse. — A *Aproz*, près de Sion (v. p. 90 à 93), la pyrite forme une zone d'imprégnation dans le toit de la couche d'anthracite. L'origine de ces

pyrites houillères s'explique comme suit: des eaux contenant du sulfate de fer sont entrées en contact avec la houille, dont le carbone a déterminé la réduction du sulfate de fer en FeS^2. A l'issue de la gorge de la Printze près d'*Aproz*, à l'ouest de Sion, le carbonifère forme un système de couches fortement plissées, entre lesquelles l'anthracite se présente sous forme de lentilles extrémement tourmentées. Les grès qui accompagnent l'anthracite sont imprégnés de pyrite surtout à son toit. Dans la paroi E de la gorge, sept galeries ont été ouvertes vers 1850 pour l'exploitation de l'anthracite. Nous les avons décrites en détail (v. p. 90 à 93). La pyrite se présente en formation exploitable surtout dans les galeries I et V. — Dans la galerie I, l'anthracite forme le remplissage d'une faille plongeant de 40 à 80° vers le NNE. Sur une longueur de 100 m. environ vers l'E 15° S, cette faille fut suivie par les galeries I et Ia d'une longueur totale de 220 m. L'épaisseur de l'anthracite de ce filon de faille atteint jusqu'à 2 m. et c'est à son toit que s'étend le grès imprégné de pyrite. La zone d'imprégnation est variable quant à sa minéralisation et quant à son épaisseur. Ordinairement l'épaisseur est de 0,5 à 2 m. et peut atteindre même 6 m. La pyrite ne se rencontre jamais en masse pure, mais se trouve toujours sous forme d'imprégnation dans le grès quartzeux à gros grain, de sorte que le minerai exploitable ne contient en moyenne que 30% de pyrite. — Dans la galerie V un flötz d'anthracite, plongeant de 20—40° vers le NE, a été entamé sur une surface de 450 m^2 environ. Au toit du flötz, l'imprégnation de pyrite dans les grès n'atteint qu'une épaisseur de 0,3 à 0,8 m. — L'examen du gisement d'Aproz en 1916 a démontré que le minerai à exploiter contient 1 t. de pyrite par m^3, soit 35% FeS^2 = 20% de S. La quantité du minerai de cette qualité dans les anciennes galeries pouvait être estimée à 6000 t. Les essais métallurgiques ont démontré que le minerai d'Aproz n'était utilisable pour la fabrication de l'acide sulfurique qu'avec une teneur de 30% de S au moins. — Lorsqu'en 1917 l'importation de la pyrite étrangère devint de plus en plus incertaine, on étudia la possibilité d'une production indigène, et il n'y avait qu'Aproz qui pût être pris en considération. La „Pyrit A. G. Aproz“ a produit à Aproz du 1er septembre 1918 à février 1919 une quantité de 182 t. de minerai contenant plus de 30% de S, ce qui a nécessité un abatage de 400 m^3, surtout dans la galerie I. Le prix de revient par tonne du minerai avec 30% de S étant de

frs. 200 environ, l'exploitation fut abandonnée aussitôt que l'importation de la pyrite italienne fut de nouveau assurée.

d) Dans les formations gneissiques de nos Alpes apparaissent, çà et là, des imprégnations ou des lentilles de pyrite, atteignant rarement des dimensions permettant leur emploi technique. On y a rarement démontré l'existence de l'or.

Nous mentionnons les gîtes suivants:

1. *Val Barthélemy* près d'Evionnaz (Valais). Les gneiss du soubassement de la Dent du Midi renferment dans la gorge de St Barthélemy, à 2 km. à l'W d'Evionnaz, à 800 m. d'altitude, des filons et des filons-couches de pyrites reconnaissables à la formation du chapeau de fer. Sur le flanc nord de la gorge, les gneiss traversés de porphyres rouges et gris sont recouverts, jusqu'à 780 m. d'altitude, par le Verrucano et des schistes calcaires, qui, le long d'une faille courant du nord au sud, buttent contre les gneiss formant plus à l'ouest les deux parois de la gorge:

a) Sur le versant nord, à 10 m. environ à l'ouest de la faille, des filons incrustés de chapeau de fer, très ramifiés et dirigés en général N—S, apparaissent sur une largeur de 5—8 m. dans la paroi abrupte au milieu des gneiss dirigés E—W. A 6 m. environ au-dessus du fond de la vallée, une ancienne galerie a traversé plusieurs filons de pyrite épais chacun d'1 dm.

b) Sur le versant sud, dans une bosse de gneiss, on a mis à découvert, sur environ 35 m. de long et 8 m. de large, un faisceau de filons concordant avec les gneiss en direction N 70° E et en plongement 80° N. Dans ce faisceau, large par places de 0,3 à 0,8 m., on trouve du minerai massif à gangue calcitique, atteignant par endroits 0,6 m. d'épaisseur.

c) De même sur le versant sud de la vallée, à environ 50 m. au-dessous de la bosse de gneiss sus-indiquée, vis-à-vis du verrucano qui apparaît dans le lit du ruisseau, les gneiss de la paroi sont veinés de filonnets de minerai.

Des échantillons du minerai de St Barthélemy ont une densité de 3,5 à 4,0, avec une teneur en S de 20—40 %. La pyrite de St Barthélemy a été jadis quelque peu exploitée, comme le montre un ancien fourneau à grillage, évidemment parce qu'on y présumait la présence de l'or. En 1918, on a pratiqué une galerie de direction de 7 m. dans le filon du gisement principal, (b), sur le flanc sud de la vallée.

2. Au fond de la gorge profonde du Trient, à 740 m. d'altitude, à 3 km au SW de Salvan, près des *Cuisons*, on a

découvert dans les gneiss, dirigés N 30° E, un filon quartzeux, dirigé N 70° W et plongeant de 80° N. La pyrite forme dans la gangue des grumeaux, des nids et des filonnets, mais la minéralisation est très pauvre. A côté du quartz, on rencontre dans la gangue de la barytine accompagnée de galène. Du fond de la gorge, le filon peut être poursuivi dans la pente abrupte sur une longueur de 200 m. et une hauteur de 150 m.

3. Dans la *vallée de la Lonza*, les gneiss contiennent des filons quartzeux pyritifères, qui ont été découverts par des galeries jusqu'à 50 m. de longueur au bord ouest de la Lonza, à la base de la „Länglaui" et de la „Seelaui", à 2 et à 2½ km. de *Gampel*. Pour une exploitation de pyrite, la minéralisation est trop pauvre.

4. Sur le versant sud de la Vallée du Rhône près de *Tourtemagne*, le carbonifère et le pontiskalk qui forment la base de la montagne, sont surmontés par des schistes cristallophylliens [Casannaschiefer] (v. p. 107). Au-dessus de *Agarn*, dans le ravin de l'Emsbach, à l'altitude de 930 m., se rencontre une ancienne fouille, nommée „Goldmine im Emsbach". Une série de schistes quartzeux séricitiques, épaisse de 2 m., renferme des couches imprégnées de pyrite. D'après les poids spécifiques des échantillons, leur teneur en soufre ne dépasse guère 20 %.

2. *Pyrrhotines.* Dans la région gneissique comprise entre Bellinzona et Lugano, se trouvent des fahlbandes renfermant principalement de la pyrrhotine (pyrite magnétique).

On les rencontre surtout sur le versant nord du M^te^ Cenere dans une zone longue de 20 km., dirigée E—W. Ces pyrrhotines constituent des lentilles dans des gneiss, elles ne contiennent ni Ni ni Cu en quantité notable, et se distinguent par ce caractère des pyrrhotines qui se sont formées par différenciation d'un magma basique éruptif. Comme la pyrrhotine se décompose facilement, elle forme d'épais chapeaux de fer, qu'on a pris pour du minerai de fer. Des gisements sont connus dans la *Valle Morobbia* à l'est de Bellinzona, à *Medeglia* sur le Monte Cenere et dans le val *Trodo* au nord et à *Fescoggia* au sud du M^te^ Tamaro. Il est à remarquer que la pyrrhotine de la zone Morobbia-Medeglia-Trodo, associée au gneiss, sans aucune relation avec des serpentines, ne contient pas de nickel; la valeur industrielle du minerai n'est donnée que par son contenu en S et en Fe.

a) Dans le Val Valetta, l'une des vallées secondaires méridionales de la *Valle Morobbia*, des fahlbandes de pyrrhotine apparaissent dans les gneiss variant en direction de SW—NE à N—S. La pyrite magnétique qui fut fouillée apparaît au jour sur l'Alpe di Piscerotto; au NW et au-dessus de l'Alpe di Valetta, on exploita le minerai de fer d'un „chapeau de fer".

b) A douze km. à l'WSW de l'Alpe Piscerotto, un gisement analogue de pyrrhotine a été découvert et exploité dernièrement près de *Medeglia*, à 3 km. à l'Est de la grande route du Monte Cenere dans le val d'Isone. Au fond de la gorge du Vedeggio, les gneiss redressés, dirigés SW—NE, renferment, sur une longueur de 900 m., une série de lentilles de pyrrhotine compacte. Ces lentilles au nombre de 5 à 6, ont une épaisseur de 0,5 à 2 m. sur une longueur de 10 à 40 m. La pyrrhotine forme des masses compactes, souvent absolument pures, présentant à l'analyse 37,3 % de S et 62,7 de Fe, tandis que la composition théorique (FeS) est S = 36,4 % et Fe = 46,6 %; on y constate le surplus en S généralement trouvé dans les pyrrhotines. La pyrrhotine de Medeglia a été découverte dernièrement, et en 1918/19 on en a exploité 60 t. environ. Au-dessous de la route Rivera-Bironico à Medeglia, à 1 km. à l'ouest de Medeglia, une série de lentilles de pyrrhotines a été attaquée par des travaux à ciel ouvert et par de courtes galeries, de sorte que la quantité de minerai découvert peut être estimée à 3000 tonnes. Des essais de grillage effectués sur 8170 kg. de minerai, dont la teneur en soufre s'élevait à 33,45 %, ont produit 2127 kg. de soufre, soit le 26 % du minerai. Donc, le 7,45 % de soufre est resté dans les déchets, tandis que dans les déchets de pyrite, on ne trouve ordinairement pas plus de 2 % de soufre. Tous ces essais de grillage ont démontré l'infériorité bien connue de la pyrrhotine comme minerai de soufre.

c) Dans le val *Trodo*, à 1½ km. au SW du Monte Cenere, sur le versant nord du M^te^ Tamaro, à l'altitude de 900 m., nous trouvons un troisième affleurement de pyrrhotine tout à fait analogue. Le minerai est découvert dans une lentille de 30 m. de longueur et de 2 à 5 m. d'épaisseur. La pyrrhotine est ici plus fortement mélangée avec du quartz; le minerai choisi contient de 10 à 30 % de S et jusqu'à 1,7 % de Cu. Ici aussi, des travaux de découverte ont été effectués en 1916/18.

d) Sur le versant sud du M^te^ Tamaro dans le Malcantone, on trouve à l'est de *Fescoggia* de semblables lentilles quartzeuses

avec de la pyrrhotine, atteignant une épaisseur de 1,3 m. et dirigées N 50° W avec un plongement de 50° vers le S.

3. *Arsénopyrites.* a) En Valais, au pied S. des Dents du Midi, au-dessus de *Salanfe,* on trouve, intercalée dans des gneiss du massif des Aiguilles rouges, une couche de calcaire cristallin, de direction SW—NE. Cette bande est minéralisée d'une manière analogue au calcaire du Mont-Chemin près de Martigny. Le minerai associé à des silicates (Diallage, Amphibole, Zoïsite et Titanite) est ici de la leucopyrite ($Fe_2(AsS)_3$). L'analyse du minerai a donné les chiffres suivants: Fe = 28,7 %, As = 48,3 %, S = 4,1 %, SiO^2 = 17,4 %. La leucopyrite a donc la composition suivante: Fe = 35,4 %, As = 59,5 % et S = 5,1 % égale à 4 Fe + 5 As + 1 S. La teneur en or est de 40 gr. p. t. Le tout-venant, première qualité, contient 35 % d'As et 35 gr. d'or p. t. — L'ouvrage principal (Chantier Robert) se trouve sur le flanc NW du Luisin, à 2200 m. à l'est et au-dessus du lac d'Ottans. (V. feuille 526 : mine d'arsenic). Dans des gneiss dirigés N 40° E et plongeant de 70° vers le NW, le banc de calcaire contenant le minerai a été entamé sur 50 m. de longueur et une profondeur moyenne de 3 m. Les 200 m^3 extraits fournirent 196 t., c. à. d. environ 50 m^3 de minerai de première qualité. A 10 m. au-dessous de l'affleurement, le gisement fut atteint par un travers banc supérieur d'environ 40 m. de longueur, puis suivi en direction vers le NE et le SW sur 16 et 32 m., soit en tout sur 48 m. de longueur. A l'extrémité NE de cette galerie, on creusa un puits de 20 m. de profondeur. L'épaisseur de la couche exploitable était de 0,4 à 1,1 m. A 50 m. environ au-dessous de l'affleurement, on poussa un travers banc de 152 m. jusqu'au-dessous du puits de gauche à l'extrémité NE du niveau supérieur. Entre 124 et 129,5 m., puis entre 143 et 146 m., à partir de l'embouchure, on coupa les couches de calcaires correspondant à l'affleurement, dirigées N 40° E et plongeant de 60° vers le N. Mais à ce niveau situé à 50 m. au-dessous de l'affleurement, la couche présentant du minerai jusqu'à 20 m. au-dessous de la surface se montra stérile. Au SW du Chantier Robert, on a constaté dans les chantiers Combarossa, Henri et Marguerite le prolongement de la couche calcaire métallifère sur une longueur de 700 m. De même, jusqu'à 150 m. au N du Chantier Robert, on rencontre dans le gneiss des couches de calcaire, qui ne sont que très peu minéralisées, même dans des galeries de recherche. — Le gisement de leucopyrite de Salanfe n'a été

découvert qu'il y a environ 30 ans. Les premiers ouvrages ont été exécutés en 1902, et de 1904 à 1907 le Chantier Robert a livré 720 t. de minerai d'arsenic et d'or, contenant pour 94,000 frs. d'arsenic et 57,000 frs. d'or, c. à. d. d'une valeur totale de 151,000 frs. La teneur moyenne en As est de 45 %, celle en or de 30 à 35 gr. par tonne. En 1917 et 1918, on a repris les travaux de découverte, surtout dans le Chantier Robert, sans procéder d'ailleurs à une nouvelle exploitation.

b) Sur le versant sud du Pizzo Rotondo, à l'*Alpe della Cassina baggio*, il existe dans le gneiss au contact avec le granit du Rotondo des bandes de quartz de 20 cm. d'épaisseur imprégnées de pyrites arsénicales.

c) Sur le versant E du *Monte Beglio*, à 4 km. au-dessus de Tesserete, au nord de Lugano, une lentille peu épaisse de pyrite arsénicale et de pyrite est intercalée en concordance dans les gneiss.

d) Au N et au-dessus de *Fescoggia* (Torri), au NW de Lugano, un filon de quartz dirigé N 10° W est encaissé dans des gneiss de direction E.-W.; il renferme de la pyrite et de la pyrite arsénicale. Le chapeau de fer en fut exploité.

e) Dans les Grisons, au fond du *Val Minor*, au N du col de la Bernina, on entama des fahlbandes de pyrite arsénicale, dans les gneiss plongeant faiblement vers le NE. Les affleurements des fahlbandes et de courtes galeries se trouvent au N du petit lac (2366 m) et sur l'arête entre le val Minor et la Valle della Forcola di Livigno. De même près de *La Motta*, le long de la route de la Bernina, à l'entrée du Val Lagone, on trouve une fahlbande quartzeuse à pyrite arsénicale. Le minerai du Val Minor renferme 46,16 %, celui de La Motta 40,68 % d'As.

4. Pyrites aurifères. a) Dans le gneiss du versant méridional des Alpes centrales, on trouve, dans une zone de plus de 150 km. de longueur, de direction SW—NE, des filons pyriteux de quartz aurifère. A cette zone appartiennent les gisements bien connus du versant sud du Mt Rose en Italie ainsi que de *Gondo* sur territoire suisse. Du SW au NE nous trouvons les mines suivantes: *Brusson* dans le val d'Evançon, *Alagna* dans le V. Sesia, *Macugnaga-Pestarena* et *Banio* dans le V. d'Anzasca, *Pié di Mulera-Vogogna* dans la Valle Grande du Toce, *Antrona* dans le V. d'Antrona à l'ouest de Domo d'Ossola, *Gondo* dans le V. Divedro au Simplon, *Crodo* dans le V. d'Antigorio, et l'*Alpe Formazzolo* dans le V. Calneggia, au NW de Bignasco. Tous ces gise-

ments représentent des filons qui coupent les gneiss perpendiculairement à leur direction, sans avoir subi aucune dislocation. Les filons pénètrent assez souvent dans les calcaires et les schistes mésozoïques superposés en concordance au gneiss. La formation des filons et leur minéralisation est donc postérieure à la formation des Alpes. c. à. d. d'un âge tout récent. — Sur le versant E du Zwischenbergertal, près de *Gondo*. les gneiss d'Antigorio, de direction N 80° E, avec pendage de 30° au S, sont recoupés par des filons dont la direction est de N 20—50° W. avec plongement de 70—85° au NE. Environ 10 filons ont été entamés, sur une surface d'à peu près $^1/_2$ km² au moyen d'une longueur de galeries d'environ 1200 m. Les filons renfermant de la pyrite consistent en veines de quartz et de calcite traversant le gneiss. La teneur en pyrite est fort variable. Les échantillons moyens de minerai pyriteux analysés renfermaient 27 gr. d'or, en moyenne, par tonne. Alors que, dans les premières périodes, au commencement du XIXe siècle, on exploita surtout le „chapeau de fer", ce qui constitua une opération lucrative à cause de l'enrichissement de l'or natif, on procéda plus tard à l'exploitation de la pyrite aurifère au moyen de galeries. Dans la dernière période d'exploitation, de mars 1894 à août 1896, on fondit 5791 tonnes de minerai et l'on obtint en tout 33 kg. d'or d'une valeur d'environ 100,000 francs. La production journalière moyenne s'éleva à 10 tonnes de minerai, avec 5,7 gr. d'or par tonne. — C'est à l'extrémité NE de la zone de pyrites aurifères du Piémont qu'appartiennent, sur territoire suisse, les filons de l'*Alpe Formazzolo*, dans le Val Calneggia, à l'ouest du V. Bavona (Tessin).

b) Dans le Malcantone à l'ouest de Lugano, des gneiss et le granit montrent une minéralisation remarquable. Nous y trouvons des filons et des fahlbandes. Les minerais sont assez différents; des pyrites arsénicales contiennent de l'or. — Entre *Novaggio* et *Miglieglia*, apparaissent les filons verticaux „Baglioni" et „Franzi", de direction N 30° W. Ils renferment de la pyrite arsénicale et de la pyrite dans une masse filonienne quartzeuse. La teneur en or du minerai qui est indiquée est de 80 gr. par tonne. Dans le Val Tresa, près d'*Astano*, au voisinage de la frontière suisse, des filons ayant jusqu'à 2 m. d'épaisseur, de direction N 60° W, furent exploités dans deux mines „Alle Bolle" et „Alla Costa". Les minerais sont de la pyrite arsénicale et de la pyrite avec de la stibine, de la blende et de la galène. Les minerais amalgamés dans des moulins pié-

montais à Molinazzo sur la Tresa rendirent de 30 à 60 gr. d'or par tonne.

Le parallélisme des filons aurifères de Novaggio et d'Astano avec ceux de Formazzolo et de Gondo est à remarquer. Les deux groupes se poursuivent en direction SSW-NNE., c'est-à-dire perpendiculairement à la direction alpine.

c) A l'extrémité SW. du Calanda, sur le versant à l'W et au-dessus de Felsberg près de Coire, on trouve dans le Dogger, au *Goldene Sonne*, des veines de quartz et de calcite dans lesquels sont disséminés de la pyrite, du mispikel et de l'or libre. Des exploitations eurent lieu de 1809 à 1813 et de 1856 à 1861. La teneur en or du minerai moyen est déclarée s'élever à 15 gr. par tonne. Le plus grand morceau d'or libre qui y fut trouvé pesait 125 gr. On a découvert encore en 1910 de l'or visible dans un bloc d'un mur de vigne à Felsberg.

IV. Minerais de cuivre.

Les minerais de cuivre sont d'une part et principalement de la pyrite de cuivre (chalcopyrite) et ses produits de transformation, d'autre part des fahlerz (cuivres gris). Il n'y a pas de séparation stricte entre les gisements où prédomine l'un ou l'autre de ces deux types de minerai.

1. Pyrites cuivreuses (Kupferkiese).

La chalcopyrite forme le minerai primaire prédominant:

1. en filons et en filons-couches dans des sédiments permiens (Verrucano) sur la *Murtschenalp* (Ct. de Glaris) et près de *Panix* et d'*Andest* dans la vallée du Rhin antérieur (Ct. des Grisons);
2. dans des lentilles et des filons liés à des roches éruptives basiques et à des schistes cristallins dans le canton des Grisons, nommément dans la Basse-Engadine au *Piz Mondin* et près de *Lavin*, au *Rothorn* près d'Arosa, dans l'Oberhalbstein près de *Sur* et sur l'*Ochsenalp*, enfin dans le *Val Puntaiglas* au pied sud du Tödi. Dans le Val d'Anniviers (Valais), où prédominent les cuivres gris et les minerais de nickel, on trouve un gisement de chalcopyrite dans les schistes verts de l'*Alpe de la Lex* près de Zinal.

A. Gisements dans le Verrucano.

a) Des minerais de cuivre plus ou moins argentifères, dont la forme primaire est la chalcopyrite, apparaissent en filons et en couches dans le Verrucano et la Rötidolomite des Alpes glaronnaises et de l'Oberland des Grisons. Le gisement le plus important en est celui de la *Mürtschenalp*, au S. du lac de Walenstadt. Dans le Verrucano, plongeant faiblement au N., apparaît, sur une distance de 1,5 km., un filon de direction E.-W. avec pendage de 50° vers le S.; il est recoupé par de nombreuses cassures transversales dirigées du N. au S. Les minerais remplissent, sous forme de minces filonnets, la dolomie et la roche encaissante, de sorte qu'il en résulte par endroits une zone minéralisée pouvant avoir de 1 à 6 m. d'épaisseur. Le minerai primaire, qui ne se trouve qu'à une plus grande profondeur, est la chalcopyrite très peu argentifère. Vers la surface, dans la zone de cémentation, apparaissent ses produits de transformation: cuivre panaché (bornite), cuivre sulfuré (chalcosine) et malachite. L'argent natif se trouve dans le cuivre panaché, sous forme de petites paillettes. Le cuivre panaché le plus riche renferme 71,8% de Cu et 0,66% d'Ag. On y trouve plus rarement encore du cuivre gris (Fahlerz), de la molybdénite et des uranites (Uranglimmer, chalcolite).

On a exploité surtout dans trois mines: *Erzbett* (1810 m.) et *Hauptgrube* (1760 m.) au-dessous de Unter-Staffel, et *Kalttal* (1620 m.), 1100 m. plus à l'est sur l'arête vers le Murgtal.

Dans la mine *Erzbett*, à l'ouest, le filon forme un réseau de ramifications dans une gangue formée de „graues Gebirge". Il atteint par places 6 m. d'épaisseur. La dolomie n'y apparaît que rarement. Des minerais riches ont été rencontrés surtout à l'affleurement. — Plus à l'est, la mine la plus importante, *Hauptgrube*, suit le filon composé de dolomie et de „graues Gebirge". Il a 2 m. d'épaisseur à l'affleurement, et se perd peu à peu dans la profondeur. Ici aussi, ce n'est que près de la surface qu'on a rencontré des minerais riches. L'exploitation s'est effectuée à 4 niveaux — La troisième mine, la plus orientale, dans le *Kalttal*, a mis au jour les minerais les plus riches, dans une roche très crevassée; mais les travaux furent suspendus avant qu'on pût commencer une exploitation régulière.

Dans la période comprise entre 1855 et 1861, on a vendu 1148 quintaux de minerai à fondre avec une teneur

moyenne de 14,9 % de Cu et 0,067 % d'Ag, pour lequel la fonderie Brixlegg en Tyrol payait frs. 22 par quintal, alors que les frais d'extraction, de préparation et de transport s'élevaient à frs. 32.

D'août 1916 en automne 1918, on a exécuté des travaux de découverte assez importants dans les deux mines Erzbett et Hauptgrube. — Dans la mine *Erzbett*, la descenderie plongeant de 48° vers le sud fut asséchée, et un travers banc de 181 m. de longueur, pratiqué à partir du nord à 1773 m. d'altitude, passa à 37 m. au-dessous du niveau principal de la mine. Ce travers banc a dû croiser l'emplacement du filon à 122 m., mais sur tout son parcours aucun filon n'a été trouvé. – Dans la *Hauptgrube* on a déblayé les anciens travaux, et la galerie commencée pour rejoindre la mine Erzbett fut prolongée de 39 m. vers le sud sans rien trouver.

A côté du filon attaqué par les mines d'Erzbett, Hauptgrube et Kalttal, on trouve des filons-couches dans le Verrucano du Hochmättli et de la *Silberspitz*, ainsi que dans la zone quartziteuse formant passage du Verrucano à la Rötidolomite, au *Bärenboden*. Le Verrucano renferme aussi, plus à l'E, des minerais de cuivre sur l'Alpe *Tobelwald* et au *Grossberg* près de Flums.

b) Le Verrucano de la Murtschenalp, appartient à la grande nappe de recouvrement de Glaris, dont la racine se trouve dans l'Oberland grison. Des gisements analogues à ceux de la Murtschenalp sont donc connus sur l'Alpe *Ranasca* au-dessus de Panix et dans le Val Schmuer à l'est d'*Andest*. au nord du Rhin. Vers 1825 on a exploité les minerais de cuivre dans le Val Schmuer pour la fabrication du vitriol. En 1917/18 on a repris les travaux dans la gorge du Val Schmuer entre San Valentino et Andest à l'altitude de 960 m., à 2 km. WNW de Ruis, sur l'emplacement d'une ancienne mine. Sur la pente est de la gorge, on a fouillé dans les éboulis, qui contiennent des blocs d'un Verrucano très quartzeux avec des filonnets de chalcopyrite, de carbonate de cuivre et de galène. Sur la pente ouest, on a ouvert deux galeries de 77 m. et 45,5 m. de longueur suivant la direction des couches vers l'ouest, sans trouver de minerai.

B. Gisements liés à des roches basiques.

a) Sur le versant NE du *Piz Mondin*, à 2000 m. d'altitude, au-dessus de Finstermünz, les schistes verts associés à

de la serpentine renferment des lentilles de chalcopyrite et de fahlerz, accompagnées de malachite, de sulfate de cuivre et d'allophane.

b) Près de *Lavin*, dans la Basse-Engadine, des intercalations de pyrite cuivreuse et de pyrite se trouvent dans les gneiss.

c) Sur le versant occidental du *Rothorn*, à l'W. d'Arosa, des lits de pyrite cuivreuse et de pyrite existent dans des gneiss à hornblende.

d) Dans les „Bündnerschiefer" de l'Oberhalbstein, avec leurs grandes masses de roches ophiolitiques, on trouve des gisements de minerai de manganèse dans les schistes jaspoïdes (V. p. 197) et des lentilles de pyrites de fer et de cuivre dans les serpentines. — A 1,5 km. au SE de *Sur*, sur la route du Julier, à l'endroit „Alte Eisengruben" (feuille 517), une masse de serpentine contient des pyrites. — Sur l'*Ochsenalp (Colm da Boos)*, à l'est au-dessus de Rofna, à 2484 m. d'altitude (feuille 426), on a exploité au commencement du XIXe siècle des pyrites cuivreuses imprégnées dans la serpentine.

e) Dans le *Val Puntaiglas*, sur le versant S. du Tödi, une diorite renferme des lentilles de minerais qu'on doit considérer comme des différenciations pneumatolytiques d'origine magmatique. Les minerais, étroitement associés à des silicates (tourmaline, amphibole, épidote etc.) sont de la pyrite cuivreuse, de la pyrite, de la magnétite, de l'hématite et leurs produits de décomposition: malachite, cuprite et limonite. Les mines de Puntaiglas furent exploitées en dernier lieu en 1845.

f) Les schistes micacés du Val d'Anniviers qui plongent vers le sud, sont recouverts près de Zinal par un puissant système de quartzite, de marbre et de schistes calcaires d'âge mésozoïque. Dans les schistes calcaires se trouvent d'épaisses couches de „schistes verts" (Diabase schisteuse). A environ 3 km. au NW de Zinal, les schistes verts de la paroi rocheuse située au NW et au-dessous de l'*Alpe de la Lex* contiennent à 1850 m. d'altitude, c. à d. à 100 m. environ au-dessus du fond de la vallée, un banc de quartz contenant de la chalcopyrite. Ce gisement a été attaqué en 1857, et suivi de 1900 à 1902 sur environ 500 m. de longueur. Le banc de quartz plonge de 10—20° vers le sud; son épaisseur varie, en direction, de 10 à 50 cm. Aux renflements, le quartz est accompagné de calcite grenu. Dans le quartz se trouvent des imprégnations de chalcopyrite présentant des enrichisse-

ments locaux. Le schiste vert est imprégné de pyrite à la salbande. La teneur du quartz en minerai est si irrégulière qu'il ne vaut pas la peine d'exploiter le gisement. Le tout-venant extrait contenait en moyenne 2 % de cuivre. — Les schistes calcaires contenant les schistes verts se prolongent à l'Est dans la masse de la Garde de Bordon et sont coupés par la vallée de la Gougra, où, sur l'Alpe de *Zatelet-Praz*, apparaît un gisement de chalcopyrite analogue de nature et de position à celui de la Lex. Cependant on ne saurait songer à une liaison ininterrompue des deux gisements, distants de 4 km.

2. *Cuivres gris (Kupferfahlerze).*

Des minerais de cuivre, dont le constituant principal est le cuivre gris (Fahlerz) forment d'un côté des imprégnations dans des calcaires triasiques en combinaison avec des minerais de plomb et de zinc, d'un autre côté des fahlbandes dans les schistes cristallins surtout de la zone du Grand St. Bernard en Valais.

A. Gîtes dans des calcaires triasiques.

a) Près de *Wiesen*, dans la vallée de la Landwasser et au S. de *Filisur*, sur le versant E. de la vallée de l'Albula, on rencontra des cuivres gris dans le calcaire triasique.

b) A la sortie du Val d'Avers (V. p. 189), une couche de calcaire triasique dirigée E—W, plongeant fortement vers le nord, se trouve pincée entre les couches du porphyre de Rofna. Dans ce trias près des chalets de *Gruaba* (Silbergruben, feuille 414) et dans le porphyre avoisinant, il y a des imprégnations et de minces lentilles de cuivre gris avec des carbonates de cuivre. Des échantillons triés du minerai donnèrent 16 % de Cu, tandis que le tout-venant ne donne que 1 à 4 % de Cu et 1 à 2 ‰ d'Ag. On a creusé des galeries d'une longueur totale de 500 m. environ. La mine „*Gruaba*“ fut en activité dernièrement en 1870.

c) Au *Gnapperkopf*, pied N. du Calanda, dans la vallée de la Tamina, la Rötidolomite renferme des veines de quartz avec cuivre gris argentifère et carbonate de cuivre. Une petite mine y a été en activité en 1860/61 et en 1865/66.

d) Dans la dolomie cristalline triasique du Binnental, célèbre par sa richesse en minéraux, on trouve au *Lengenbach* une grande quantité de „minéraux“ qui furent extraits

au moyen d'une petite galerie. Le nombre connu des espèces minérales trouvées dans la carrière du Lengenbach s'élève à 47, parmi lesquelles 33 n'ont été trouvées que dans cette localité. A côté de la blende et du réalgar, apparaissent dans la dolomie saccharoïde, des cristaux riches en faces de Binnite, Scléroclase, Dufrénoysite, Jordanite, Rathite, Baumhauerite, Proustite etc., qui sont des sulfoarséniures divers de plomb, de cuivre et d'argent.

B. Fahlbandes dans les schistes cristallins.

Les schistes cristallins de la zone du Grand St-Bernard (V. p. 47) renferment des fahlbandes dont les minerais sont des cuivres gris, la chalcopyrite, la pyrite et la pyrrhotine, la galène et la blende. Entre le V. d'Hérens à l'ouest et la V. de St-Nicolas à l'est, ces fahlbandes sont concentrées dans le Val d'Anniviers.

a) Val d'Hérens.

Sur la pente est du V. d'Hérens, à 300 m. au S du village de *Suen*, on trouve dans les schistes de Casanna plongeant de 20 à 30° vers le sud, une zone lenticulaire imprégnée de carbonates de cuivre. Sous une surface d'environ 400 m², on a pratiqué des galeries pour exploiter une couche imprégnée de minerai sur 15 à 60 cm. d'épaisseur. On a extrait en 1917 100 t. de minerai, rendant 3 t. de cuivre. Des minerais identiques sont signalés à 5 km. du nord de Suen près de *Nax*.

b) Val d'Anniviers.

Les exploitations minières dans le Val d'Anniviers ont commencé en 1718 et ont continué avec beaucoup de fluctuations jusqu'à 1913. Le Val d'Anniviers est devenu ainsi en un certain sens un centre minier.

Les vallées du Bas-Valais qui partent du massif de la Dent blanche vers le nord (Val d'Hérens, Val d'Anniviers et Val Tourtemagne) présentent toutes des profils analogues. A leur débouché dans la grande vallée du Rhône, nous trouvons, plongeant vers le sud, les schistes de la zone carbonifère: Hospice du Simplon-Chippis-Grand St-Bernard. Au toit du Carbonifère, vers le sud, un système puissant de quartzites et de dolomies permiennes et triasiques plonge également vers le sud. Dans la partie moyenne des vallées,

par ex. d'au-dessous de Vissoye jusqu'à Zinal dans le Val d'Anniviers, règnent des schistes micacés et des gneiss, ainsi que des schistes variés contenant de la hornblende, qui appartiennent à la zone Bérisal-Grand St-Bernard. Toute la masse de ces schistes est faiblement plissée et plonge en général de 20 à 30° vers le SE. Sur les crêtes qui séparent les vallées d'Hérens, des Anniviers et de Tourtemagne, on trouve, au-dessus de ces schistes micacés de la zone du Grand St-Bernard, des restes de roches permiennes et triasiques, reposant sur eux en position normale. Plongeant vers le sud avec les schistes micacés, ces roches permiennes et triasiques atteignent avec eux le fond des vallées près d'Evolène et près de Zinal, et au nord, à leur mur, les schistes cristallins de la zone du Grand St-Bernard s'enfoncent dans la profondeur. Dans le Val d'Anniviers, au-dessus de Zinal, les quartzites et les calcaires sont recouverts sur 4—5 km. de longueur par des phyllites calcaires, dans lesquelles sont intercalées de puissantes couches de schistes verts (diabase schisteuse). Ces phyllites calcaires elles aussi disparaissent vers le sud au-dessous du fond de la vallée, et ces roches mésozoïques sont recouvertes par la puissante masse des gneiss d'Arolla de la nappe de recouvrement de la Dent blanche, venue du sud.

Dans ce système de roches superposées plongeant vers le sud, ce sont surtout les schistes cristallins de la zone du Grand St-Bernard qui contiennent des minerais. Ils renferment des filons-couches de galène argentifère près de Vatzeret sur Chable, à l'Alpe Siviez sur Nendaz et dans le Val d'Hérens. Près de St-Luc, de Vissoye, de Grimentz et d'Ayer, il y apparaît des fahlbandes contenant de la chalcopyrite, de la galène et des cuivres gris. Au fond de la vallée de Tourtemagne, on trouve des fahlbandes à minerai de cobalt. Des filons présentant des minerais de nickel et du cuivre sulfuré traversent les schistes micacés près d'Ayer. — On connaît des affleurements isolés de bancs de quartz contenant de la chalcopyrite dans les schistes verts près de la Lex sur Zinal. (V. p. 212.)

Les fahlbandes avec minerais de cuivre se rencontrent au nord de *Vissoye* surtout sur le versant est de la vallée, et au sud de Vissoye plutôt sur le versant ouest près de *Grimentz* et d'*Ayer*. (Voir: feuilles 482 et 487.)

1. Les mines entre St-Luc et Chandolin.

a) Moulins de St-Luc.

Près des Moulins de *St-Luc*, sur la rive méridionale du Torrent de Moulins, apparaît un filon-couche dirigé N-S., plongeant vers l'ouest, et épais de 30 à 60 cm.; sa gangue est formée de barytine finement grenue, de sidérose et de quartz. La barytine contient surtout la galène, tandis qu'avec le quartz s'associent surtout le cuivre gris et la chalcopyrite. Les cuivres gris de St-Luc contiennent de 1,8 à 3 % d'Ag., les minerais de galène contenant 55 % de Pb. ont de 0,16 à 0,36 % d'Ag.

Le filon de barytine a été attaqué sur 30 à 40 m. de longueur, à une profondeur de 75 à 80 m. par trois galeries reliées par des descenderies et des cheminées. Le gisement a été découvert en 1853 et exploité surtout en 1865.

b) Barma-Gosan.

Dans la gorge au-dessous de Mayen de *Barma*, à environ 1,5 km. au N. de St-Luc, un banc de quartz dirigé NE.-SW., plongeant de 10° vers le S., et épais de 0,5 à 2 m., est intercalé dans les schistes cristallins. Il s'y trouve des filonnets et des lentilles de cuivres gris massifs. Les imprégnations de cuivre gris sont en général accompagnées de malachite et de cuivre azuré généralement répandus. Le banc de quartz a été attaqué par une galerie de 40 à 50 m. de longueur. Les minerais triés à la main contenaient 4—10 % de Cu. Le „fahlerz" est caractérisé par sa teneur de 5—6 % en Bi. et de 9—10 % en Sb.; on le nomme l'*Annivite*. L'exploitation de Barma date de 1853.

Dans la forêt dominant le chemin de St-Luc à Chandolin sur le *plateau de Gosan*, on a également attaqué un banc de quartz dirigé NE.-SW. et plongeant de 10° vers le S., qui doit être la continuation de celui de Barma. Le minerai d'imprégnation est constitué ici aussi surtout par le cuivre gris. En 1835, on a extrait sur une longueur de 26 m. environ 500 q. de minerai, qui contenait 5—10 % de cuivre. Dans le cuivre gris pur, on a constaté 2,5 % d'Ag.

c) Fusette-Collioux.

Au NW. de Barma-Gosan, au mur de ce gisement, se trouvent les gîtes métallifères de *Fusette* et *Collioux*, dans les schistes micacés, qu'ils accompagnent en direction (SW.-NE.)

et en plongement (25° SE.). L'affleurement peut être suivi sur la pente de la montagne depuis Fusette au NE. jusqu'au dévaloir de Collioux. Outre le cuivre gris, le minerai contient de la galène et de la blende.

Près de *Fusette*, le banc de quartz présente à son mur et à son toit des bandes de cuivre gris épaisses de quelques centimètres, avec des imprégnations de galène et de blende jaune. En 1854 on y pratiqua une galerie de 52 m. en direction.

Le gisement de *Collioux* est attaqué par une galerie d'un peu plus de 50 m. de longueur. La couche de quartz et les gneiss chloritiques sont dirigés N. 15° E. et plongent de 25° au SE. La galerie principale coupe les gneiss perpendiculairement à leur direction, et s'enfonce dans la montagne en plongeant avec le banc de quartz épais d'1 à 1,5 m. A partir de ce travers banc, plusieurs galeries attaquent le quartz en direction. Ce dernier est nettement séparé des gneiss, surtout à son toit, et la salbande est partout imprégnée de malachite. Il contient des filonnets de cuivre gris et des rognons de galène finement grenue renferment quelques imprégnations de blende et de chalcopyrite. C'est la barytine qui forme la gangue des minerais de plomb. Le cuivre gris contient jusqu'à 3 % d'Ag.; la galène a fourni, à côté de 50 % de Pb., 38 gr. d'Ag. par 100 kg. Le minerai de Collioux contient de la molybdène, indiquée par la formation récente de wulfénite. La mine de Collioux fut ouverte en 1865.

2. *Les mines au sud de Grimenz et d'Ayer.*

Au sud de Grimenz et d'Ayer, les schistes micacés plongent faiblement vers le sud des deux côtés des vallées de la Gougra et de la Navigenze. Ils contiennent une zone de fahlbandes qui renferment de la chalcopyrite des cuivres gris dans une gangue quartzeuse et spathique. A l'ouest de la Navigenze, cette zone métallifère est attaquée dans les mines de Baicolliou, Zirouc, Biolec et Pétolliou; sur le versant est de la vallée, la zone contient les mines de Bourimont et de Lapine-Rousse.

a) Baicolliou, Zirouc-Biolec-Pétolliou.

Les schistes cristallins de la Pointe de Zirouc, dont le triangle sépare la vallée de la Navigenze à l'E. de celle de Gougra à l'W., contiennent une zone de fahlbandes qui affleure sur le flanc W. de la vallée de la Gougra au point

1978. Elle fut attaquée sur le versant N. et NW. à 1900 et 2200 m. d'altitude dans les mines de *Baicolliou*, *Zirouc*, *Biolec* et *Pétolliou*. La zone d'affleurement des fahlbandes atteint au sud de Zinal la vallée de la Navigenze, ayant ainsi près de 700 m. de longueur. Les schistes cristallins et les fahlbandes plongent faiblement, de 30° environ, vers le sud. Les minerais sont la chalcopyrite et le cuivre gris contenant du bismuth; les échantillons analysés donnèrent 2—4 % de Cu. et 1—2 % de Bi.

Mine Baicolliou. La mine Baicolliou a été exploitée jusqu'à ces derniers temps. La zone des fahlbandes est ici découverte et se montre métallifère sur environ 300 m. en direction (SW.-NE.) et 100 m. en plongement (vers le SE.). La gangue est constituée par du schiste cristallin quartzifié, des grumeaux de quartz, de la sidérose grossièrement spathique, et parfois aussi de la barytine. Les minerais sont répandus dans toute la couche sous forme de filonnets et de lentilles d'une épaisseur constante de 10—25 cm.; les parties quartzeuses contiennent surtout la chalcopyrite, les masses grossièrement spathiques présentent plutôt le cuivre gris bismuthifère; cependant les deux minerais sont étroitement mélangés et l'on constate tous les passages d'une catégorie à l'autre. La pyrite accompagne régulièrement le filon métallifère. La malachite et le cuivre azuré sont répandus en incrustations de décomposition dans les horizons supérieurs. — Comme l'„Annivite" de Barma, le „Fahlerz" de Baicolliou est massif, d'un noir ferreux et d'un brillant gras. L'analyse y a révélé une teneur en Bi. de 13,07 % et en Sb. de 2,19 %, tandis que l'„Annivite" de Barma contient seulement 5—6 % de Bi, mais en revanche 9—10 % de Sb. Le „Fahlerz" de Baicolliou a reçu le nom de *Rionite*. L'annivite et la rionite sont vraisemblablement des mélanges de cuivre gris antimonifère [4 (Cu. Ag. Fe.)^2 S. (As. Sb.)^2 S.^{3}] avec de la wittichénite [3 (Cu.^{2} S.) Bi.^{2} S.^{3}].

A environ 10 m. dans le mur de ce gisement, affleure sur un court espace une fahlbande pyritifère qui a aussi été attaquée par le travers banc principal de la mine, à 50 m. environ de l'embouchure. La zone de fahlbandes découverte sur 300 m. de longueur a été attaquée à trois endroits de l'affleurement: 1) Au milieu, dans les „Travaux intermédiaires", à 2000 m. d'altitude, la fahlbande fut suivie par une galerie en direction sur 50 m. de longueur et par une descenderie de 15 m. - 2) A 100 m. au SW. la fahlbande fut entamée

en plongement par la „Grande descenderie“ à 1975 m. sur une longueur de 130 m., à 57 m. de profondeur. Le filon minéralisé y avait une épaisseur de 10 à 20 cm. avec des renflements de 50 cm. à 1,8 m. — 3) A 20 m. seulement au NE. des „Travaux intermédiaires“, la fahlbande fut exploitée par „les travaux du Nord“ en galerie de direction sur 150 m. de longueur, avec une épaisseur assez régulière de 10 à 20 m.; son tout-venant avait une teneur en Cu. de 2 à 6 %. — 4) A un niveau de 50 m. au-dessous des „Travaux intermédiaires“, un travers banc fut percé sur 140 m. de longueur et des galeries de direction furent poussées à 80 m. vers les descenderies des „travaux du Nord“, et à 100 m. vers la grande descenderie du SW.

C'est en 1836 qu'on découvrit à Baicolliou des minerais contenant de 11 à 12 % de Cu. L'exploitation des années 1852—1854 fournit 80 t. de minerai ayant 5—6 % de cuivre et une teneur appréciable en bismuth. En 1872/73, les 60 tonnes de minerais extraits avaient 9,6 % de Cu., 1,35 % de Bi. et 0,03 % d'Ag. — Lorsqu'on reprit l'exploitation des mines du Val d'Anniviers au commencement du XXe siècle, on accorda une attention spéciale à la mine de Baicolliou; cependant après d'importants ouvrages d'agrandissement, les travaux furent de nouveau suspendus en 1903. De 1910 à 1914, les minerais de Baicolliou furent extraits et traités surtout en vue de l'obtention du bismuth. Trente tonnes de tout-venant contenaient 3,5 % de Cu. et 0,6 % de Bi.; elles ont livré, après préparation, 4 tonnes de concentrés avec 18 % de Cu. et 2,6 % de Bi., et l'on en a tiré 720 kg. de cuivre et 104 kg. de bismuth. La perte subie du fait de la préparation atteignait donc le 30 % pour le cuivre et le 40 % pour le bismuth. — Les plans montrent que la surface de l'abatage à Baicolliou est de 2000 m.^{2} environ; la couche ayant 20 cm. d'épaisseur, et le minerai une densité de 3, cela correspond à 1200 t. de tout-venant, contenant 40 t. de cuivre et 6 t. de bismuth.

En été 1916, on fit une petite installation de triage, qui permit de fabriquer environ 20 à 30 kg. de sulfate de cuivre en utilisant les minerais du stock.

Mines Zirouc, Biolec et Pétolliou. — Le prolongement des fahlbandes de Baicolliou a été attaqué en 1854, à 1 km. plus au NE., à environ 2000 m. d'altitude, près de *Zirouc,* par deux courtes galeries.

A 2 km. environ au SW. de Zirouc se trouvent, à 2180 et 2153 m. d'altitude, les mines voisines de *Biolec* et de *Pétolliou*, dont les minerais sont identiques à ceux de Baicolliou.

Dans la mine de Biolec, un filon-couche plongeant au SW. de 15 à 30° a été mis à découvert par un puits suivant le plongement et par un travers banc pratiqué à 30 m. au-dessous de l'affleurement. La couche minéralisée du filon a de 4 à 10 cm. d'épaisseur.

Le filon-couche mis au jour par les travaux de Pétolliou est identique à celui de Biolec. Il faut remarquer que, par opposition à Baicolliou, la fahlbande de Biolec et de Pétolliou présente souvent des renflements de 2—3 m. qui se rétrécissent ensuite. Au toit de ces lentilles apparaît une couche de pyrite de fer.

En 1834 et 1835, pendant un laps de temps de 15 mois, l'extraction atteignit à Biolec et Pétolliou 10,000 q. de minerais qui, vendus 142,500 frs., procurèrent un bénéfice de 20,697 frs. La teneur en Cu. du minerai de scheidage était de 5—10 %. Le cuivre noir obtenu contient 1 % d'Ag. — En 1866, les mines furent de nouveau déblayées, mais n'ont pas été remises en exploitation depuis 1836.

Le filon-couche de Baicolliou-Biolec-Pétolliou atteint le fond de la vallée sur le versant occidental au-dessous de Zinal.

b) Bourimont et Lapine-rousse.

La mine *Bourimont* se trouve à 2000 m. d'altitude dans la forêt communale d'Ayer, sur le flanc oriental de la vallée, en-dessus des Mayens de Bourimont. Le filon-couche est dirigé ESE.-WNW. et plonge de 35° vers le sud. La gangue se compose de sidérose avec beaucoup de quartz en grumeaux; son épaisseur est de 30 à 50 cm. Des minerais massifs y atteignent jusqu'à 15 cm. de puissance. Les minerais présents sont la chalcopyrite et le cuivre gris bismuthifère, accompagnés de pyrite et de pyrrhotine; après scheidage, ils contenaient 12 à 15 % de Cu. En 1836, on tira 1200 q. de minerai de 4 galeries. En 1866, on ouvrit deux des anciennes galeries. — En 1901, on attaqua à deux endroits, au lieu dit *Lapine-rousse*, le cône d'éboulis des gneiss à l'est et au-dessus de l'„Ancienne Usine de cuivre“ au sud d'Ayer, à 1800 m. d'altitude; les blocs de gneiss contenant de la chalcopyrite furent traités et fournirent 6 tonnes de Cu. Les blocs

de gneiss sont traversés de veines de quartz et de sidérose, au voisinage desquels se rassemblent la chalcopyrite et le cuivre gris. Les minerais contenaient 13 % de Cu. et 0,65 % de Bi.

c) Ginanztal.

Dans le *Ginanztal,* qui, à l'ouest de Viège, débouche du sud dans la vallée du Rhône, on a retrouvé la continuation de la zone des cuivres gris du nord de Vissoye dans le Val d'Anniviers. A 3,5 km. au sud du village d'Eischol, des fragments de minerais cuivreux se trouvent au milieu des schistes de Casanna dans d'anciennes haldes. Dès 1548 les chroniques mentionnent cette mine, dont l'exploitation paraît avoir été abandonnée au XVIIème siècle.

On possède des renseignements sur un gisement de minerai de cuivre dans l'Eocène du Sackgraben sur le versant E. de la chaîne du Niesen, à 5 km. au nord d'*Adelboden.* On y a exploité du cuivre en 1711.

V. Minerais de molybdène.

1. Molybdénite.

a) Nous avons mentionné l'apparition occasionnelle de la molybdénite (MoS^2), associée au cuivre gris, dans les gisements de pyrites cuivreuses de la *Murtschenalp.* (V. p. 210.)

b) La molybdénite est généralement répandue dans les granits (protogines) des Alpes. Elle a été observée dans les filons aplitiques du facies bordier du granit de l'Aar dans le Fellital et dans le Wicheltal près d'Amsteg, au Kratigelfirn dans le Maiental près de Wassen. En outre de la molybdénite sous forme de petites écailles recouvrant le quartz se trouve dans les protogines du Lucendro, du Grimsel, de l'Aletschhorn, du Bietschhorn, etc. — Dans la zone méridionale du facies bordier du granit de l'Aar, dans le *Baltschiedertal,* la molybdénite se rencontre en telle quantité qu'elle a été exploitée autrefois. En 1917/18 on a tenté l'exploitation au point de vue industriel. Dans la *Galkikumme,*

haut vallon situé à l'est du Baltschiedergletscher au pied ouest du *Lägendgrat (Im Ellend)* et du Rothlauihorn (3155 m.), crête et sommet qui séparent les vallées de Baltschieder et de Gredetsch (feuille 492), dans un grand cône d'éboulement on trouve en grande quantité des blocs épars de granit renfermant des filonnets d'aplite minéralisée. La molybdénite forme soit des feuillets de plusieurs centimètres carrés de surface, soit des mouches finement et inégalement réparties dans la masse de remplissage filonienne. Le minéral, gris d'acier, d'éclat métallique très vif, répond avec une teneur de 59 % Mo et 41 % S strictement à la formule MoS^2. — On a essayé de trouver en place le gisement de l'aplite molybdénifère. On a trouvé dans le granit de Baltschieder trois faisceaux aplitiques, l'un dans la paroi, à l'endroit où vient s'appuyer la partie supérieure du cône d'éboulement, le second au point 2887, appelé „la Galkilücke" et le troisième au sommet du „Herdgraben" à la cote 2900 m. Les zones aplitiques lenticulaires ont la direction N. 60° E. plongeant de 65° à 80° S. et la puissance de l'aplite est de 40 cm. au maximum. Dans l'aplite fortement minéralisée on a trouvé un teneur en molybdénite, de 2,33 %. En 1918 on a abattu 1 t. environ, qui a rendu 30 kg. de MoS^2.

2. *Wulfénite.*

La wulfénite ($PbMO^4$) apparaît associée à la galène. Elle est connue surtout dans les gisements métasomatiques de galène et de blende du calcaire triasique des Alpes orientales (Höllental près de Garmisch en Bavière, Nassenreit et Imst au Fernpass en Tyrol, Mies en Carinthie). Jusqu'à présent dans les gisements analogues des Grisons, la wulfénite n'a pas été rencontrée.

Comme formation récente, nous avons mentionné la wulfénite dans la galerie de *Collioux* dans le Val d'Anniviers (V. p. 217). La surface du quartz métallifère y est trapissée par endroits de wulfénite. Ce minéral forme des tablettes rectangulaires d'un jaune de cire, brillantes comme des diamants, et ayant des arêtes de 1—3 mm. Parfois les petits cristaux sont isolés dans le quartzite, parfois ils forment dans le voisinage des rognons de galène ou à leur surface des incrustations et des revêtements. On a cherché vainement de la molybdène dans cette galène; de même, les galènes de

Höllental près de Garmisch (Bavière) et de Mies (Carinthie) accompagnées de formations récentes de wulfénite sont complètement exemptes de molybdène. Comme formation récente, on trouve aussi, mais beaucoup plus rarement que la wulfénite, de la cérusite sous forme d'agrégats fasciculaires de minces cristaux prismatiques.

Il est particulièrement frappant que la présence de wulfénite, trop abondante dans la mine pour qu'on puisse l'ignorer, n'ait pas été mentionnée par les auteurs qui ont examiné à fond ces mines il y a 70 ans. On est donc autorisé à présumer qu'il s'agit d'une formation secondaire toute contemporaine.

VI. Minerais de nickel et de cobalt.

Les minerais de nickel et de cobalt sont représentés en Suisse par deux types de gisements: Dans la région riche en gîtes de cuivre gris du *Val d'Anniviers* et dans le *Val Tourtemagne* nous trouvons des sulfures et des arséniures de Ni et de Co associés à la pyrite cuivreuse dans des filons et des fahlbandes. — Des silicates hydratés de nickel sont liés aux magnésites près de Tarasp, dans la Basse-Engadine et au Val Nandró dans l'Oberhalbstein.

1. Sulfures et Arséniures de Ni et de Co.

Dans le Val d'Anniviers et dans le Val Tourtemagne, on trouve les minéraux suivants, composés de S, As, Bi et de Co, Ni et Fe: Smaltine $(CoNiFe)As^2$; Cloanthite $(NiCoFe)As^2$; Nickéline (NiAs); Skutterudite $(CoFeNi)As^3$; Bismuth (Bi); Bismuthine (Bi^2S^3); Cobaltine (CoFe)AsS; Arsénopyrite (FeAsS); Loellingite $(FeAs^2)$; Aikinite $(Pb^2Cu^2Bi^2S^6)$; puis les produits de leur décomposition, les arséniates hydratés de Ni et de Co, les fleurs de nickel (Nickelblüthe) $Ni^3As^2O^8 \cdot 8\,H^2O$, et les fleurs de cobalt (Cobaltblüte) $Co^3As^2O^8 \cdot 8\,H^2O$. Ces minéraux apparaissent dans des fahlbandes et des filons. Le gisement typique des fahlbandes est celui de *Kaltberg* dans le Val Tourtemagne; dans les mines de *Grand Praz* et de *Gollyre*, au sud d'Ayer dans le Val d'Anniviers, on a exploité deux filons. Les minerais des fahlbandes de Kaltberg dans le Val Tourtemagne sont surtout des minerais de cobalt; ceux

des filons de Grand Praz et de Gollyre dans le Val d'Anniviers sont surtout des minerais de nickel.

A. Fahlbandes.

a) Val Tourtemagne.

Le versant occidental du fond du Val Tourtemagne consiste, entre 1900 et 3000 m. d'altitude, en schistes cristallins de la zone du Grand St-Bernard. Ces schistes cristallins plongent d'environ 30° vers le SW.; à la hauteur du Frilihorn, ils sont recouverts en concordance par des quartzites, des calcaires et des phyllites calcaires (Trias et Jurassique).

La principale fahlbande métallifère se trouve à environ 2300 m. d'altitude sur le flanc nord de l'arête rocheuse nommée „*Kaltberg*", qui s'étend de l'ouest à l'est entre le Frilitäli au sud et le vallon du „Pas de Forcletta" au nord. Les horizons supérieurs de cette crête sont des schistes micacés gris; dans le bas se trouvent des variétés rappelant plutôt le gneiss, et dans la région des filons-couches les schistes sont plus riches en éléments foncés (chlorite et amphibole). Les couches minéralisées du Kaltberg sont des fahlbandes typiques de minerais de cobalt qui présentent de grandes analogies avec celles de Schladming en Styrie et de Skutterud-Snarum en Norvège.

Actuellement, les fahlbandes du Kaltberg sont attaquées sur une longueur maximale de 60 m. en direction, et sur une distance égale en plongement (30—80° SW.), de sorte que les galeries et les exploitations du gisement atteignent un total de près de 500 m. La surface abattue peut être d'environ 1000 m². La zone des fahlbandes atteint près de 30 m. d'épaisseur. On y compte 7 filons-couches superposés: au mur se trouvent les filons 1 et 2, distants de 3 m. et épais de 5 cm. environ; à 17 m. au-dessus du filon 2 se présentent les filons 3, 4 et 5, distants de 3 à 5 m. et où les inclusions métallifères atteignent jusqu'à 30 cm. d'épaisseur. Les filons 6, 7 et 8 du toit contiennent des veines de minerai qui n'ont que quelques centimètres d'épaisseur. Ce sont les filons 3 et 4 qu'on a exploités. Tous deux sont attaqués à partir de l'affleurement par des descenderies et suivis par deux travers bancs pratiqués à 12 et 24 m. au-dessous du niveau de l'affleurement.

Les couches minéralisées, de même que les schistes micacés, sont fortement plissées, triturées et déchirées; elles for-

ment un système de plis monoclinaux, de flexures et de failles dont l'ensemble plonge vers le SW. Dans le flanc de raccordement les minerais ont presque complètement disparu, tandis que dans les parties normales le gîte est mieux développé. Le gisement se compose ainsi d'un chapelet de lentilles, qui plongent d'environ 35° vers le SW. Quelques-unes des lentilles exploitées avaient 10—30 cm. d'épaisseur, 4—5 m. de longueur et 7—8 m. de largeur. La gangue des minerais est de la sidérose grossièrement spathique, correspondant à la „Rohwand" de Schladming; les salbandes présentent des couches schisteuses riches en chlorite, en stilpnomélane et en amphiboles, et imprégnées de fragments de minerais et de cristaux.

A *Kaltberg*, le minerai prédominant est la smaltine, et plus spécialement la „smaltine grise", pauvre en nickel et riche en fer. Elle forme des masses de grain variable, étroitement unies avec des carbonates (Rohwand) de même qu'avec de l'amphibole et de la stilpnomélane. On y a observé de petits cristaux isolés avec les faces (010) et (110). Les faces sont tapissées d'une fine incrustation de chalcopyrite. On a analysé deux variétés de smaltine, l'une massive et d'un gris terne, l'autre à grain fin et d'un gris brillant.

	Variété 1 (massive, gris-terne)		**Variété 2** (à grain fin, gris-brillant)	
	%	%	%	%
Gangue	0,30	—	3,40	—
S	1,18	1,18	1,44	1,52
As	71,56	71,41	66,85	70,37
Co	11,63	11,60	15,64	16,46
Ni	0,86	0,86	1,26	1,33
Fe	14,98	14,95	9,80	10,32
	100,51	100,00	98,39	100,00
Formules:	$(Co_{20}Ni_2Fe_{28})(As_{95}S_5)$		$(Co_{28}Ni_2Fe_{20})(As_{95}S_5)$	

Parmi les 55 exemples de smaltine et de chloanthite dont les analyses sont citées par *C. Hintze* (Handbuch der Mineralogie. Bd. I, p. 810/812), il n'y en que 7 qui soit comparables à ceux de Kaltberg, par une teneur en Ni inférieure à 2% et par une teneur en Fe atteignant 12%. La smaltine

la plus voisine des deux variétés de Kaltberg est celle de Schneeberg.

La nickéline n'est guère présente; elle forme des couches à grain fin à la salbande des filons de smaltine.

A côté de cristaux de smaltine s'en trouvent aussi de skutterudite ayant les faces: (111), (211), (001), (110), (210).

Soudés à des carbonates et à la smaltine, on trouve du bismuth natif et de la bismuthine. Le bismuth forme des agrégats d'un argenté rougeâtre, irisés, grenus ou feuilletés, avec clivage apparent.

Les carbonates et la roche chloritique contiennent de l'arsénopyrite. Ses cristaux, étirés dans le sens de l'axe a, atteignent 1—5 mm. de longueur sur 1 mm. d'épaisseur et de largeur; leurs faces sont: (110), (012) et (011). On trouve fréquemment des macles suivant: (110) et (101). — Les valeurs trouvées à l'analyse conduisent à la formule $Fe_{10}S_9As_8$. — A l'arsénopyrite s'associent des agrégats grenus de magnétite. La gangue présente enfin des imprégnations sporadiques de chalcopyrite et de bornite.

Les minerais de la mine Kaltberg vendus après triage à la main sont des minerais de cobalt. Dans 300 q. de minerai on trouve une teneur en Ni de 3—4 % et en Co de 7—8 %; dans 350 autres quintaux, on obtient 0,5—1 % de Ni et 8—10 % de Co. Certains échantillons contenaient 2—3 % de bismuth. En moyenne, on peut admettre pour le minerai de 1ière qualité des teneurs de 8 % pour le Co et de 2 % pour le Ni.

Le gisement de Kaltberg a été découvert en 1854 et exploité jusqu'en 1856 par *Baglioni*. De 1875 à 1884, *Ad. Ossent* a continué l'exploitation avec diverses interruptions. La vente des minerais a rapporté en tout 27,000 frs., ce qui correspond à 30 tonnes de minerai. — De 1891 à 1898, la mine de Kaltberg fut exploitée par le Dr. *Schacht*. Les minerais vendus à Oberschlema en Saxe rapportèrent en tout 18,000 frs., correspondant à 20 t. de minerai. Ainsi le produit total de la mine de Kaltberg se monterait à 50 t. de minerai, contenant 8 % Co et 2 % Ni, ce qui donnerait seulement 30 kg. de minerai par m.² de filon, soit 3 kg. de Co + Ni.

Des gisements analogues à ceux de Kaltberg ont été encore constatés à trois endroits du Val Tourtemagne. Sur le flanc droit de la vallée, à 500 m. au-dessus de la rivière, à

„*Brändi*“, affleure une couche de sidérose contenant des minerais de cobalt, de la chalcopyrite et de l'arsénopyrite. — Sur la rive gauche du *glacier de Tourtemagne*, à environ 2400 m. d'altitude, une couche de spath présente des inclusions de chloanthite. — Au nord de Kaltberg, près de *Bitzen (Zerbitzen)*, on a découvert en 1875, à 2140 m. d'altitude, un filon-couche avec des fleurs de cobalt.

b) Val d'Anniviers.

1. La mine de *Plantorin* se trouve à 3047 m. d'altitude, au nord-est de la crête de Barneuza, à 600 m. au sud du Pas de Forcletta. Dans une gangue formée de barytine et de sidérose se trouvent des nids de smaltine et de chloanthite. On y a attaqué l'affleurement d'une couche présentant de forts renflements locaux, dirigée N. 70° W. et plongeant de 35° vers le SW. De la couche partent plusieurs crevasses plongeant abruptement vers le sud, dans lesquelles la gangue de barytine a pénétré, formant des sortes d'apophyses. En 1841 on en tira 5000 kg. de minerai, et en 1875, 2500 kg. contenant 10 à 16 % de Co + Ni.

2. Sur l'Alpe *Tounot* (2202 m.), à l'est et au-dessus de Vissoye, on attaqua en 1850, par une galerie de 20—30 m. de longueur, une couche de sidérose traversée de fleurs de nickel avec imprégnations de chalcopyrite.

3. Une trouvaille analogue fut faite en 1849 à *Garboula*, à l'est de St-Luc, où l'on suivit la couche en descendant pendant environ 12 m. La gangue de sidérose contenait de la chloanthite et de la cobaltine.

4. La mine *Fang* est située au nord de Vissoye, au-dessous du chemin de Chandolin, dans la gorge de Colliaux. On y peut suivre sur plus de 100 m. une couche de quartz avec sidérose, épaisse de 15—45 cm. et plongeant de 15—20° vers le sud. Le quartz contient de minces filonnets de minerais de bismuth et de cobalt; la sidérose métallifère ne se présente pas fréquemment. Il faut y noter la présence d'imprégnations de bismuth feuilleté. Des échantillons de minerai contenaient 7,86 % de Bi, 4,72 % de Co et 1,55 % de Ni. Les essais d'exploitation datent de 1854/55 et de 1867.

5. Sur le versant occidental du Val d'Anniviers, dans la forêt de *Painsec*, on a attaqué à trois endroits, en 1848 et 1856, des affleurements analogues de minerais de cobalt. Les

minerais présents y sont la cobaltine, la wellingite, la chloanthite et l'aikinite. L'aikinite argentée contient 28,59 % de Pb, 9,72 % de Cu, 42,43 % de Bi et 17,10 % de S. Des filonnets de barytine contiennent des grains de cuivre gris.

6. Sur le versant occidental de la vallée de la Navigenze, vis-à-vis d'Ayer, la localité de *Rousson,* au sud-est et au-dessous des Mayens de Zirouc, contient des minerais de Ni et de Co. Il s'agit sans doute ici d'une fahlbande au mur de la fahlbande cuprifère de Baicolliou.

B. Filons.

Grand Praz et Gollyre près d'Ayer (Val d'Anniviers).

Dans la région des deux filons de *Grand Praz* et de *Gollyre*, au-dessus de Vissoye, sur le flanc oriental du Val d'Anniviers, existent des gneiss séricitiques et chloritiques avec des variétés riches en amphibole. Ils sont dirigés N. 70° E. et plongent de 30° environ vers le nord. Les deux filons minéralisés sont également dirigés à peu près E.-W., mais plongent de 60 à 85° vers le sud; ce sont donc des filons de fentes typiques.

La gangue des filons est de la sidérose. L'épaisseur des filons est de 1—2 m., avec des renflements atteignant rarement 5 m. Parfois le filon se divise en deux branches qui plus loin se réunissent. Aux salbandes apparaissent des lisières d'argiles vertes, terreuses et micacées; à la salbande du mur s'ouvre une fente presque continue le long de laquelle on a poussé l'avancement. Les couches minéralisées n'ont guère que quelques centimètres d'épaisseurs, sans jamais dépasser 30 cm.

Les minerais prédominants sont des sulfures de Ni et de Co, dont la gangue est la sidérose.

La nickéline est beaucoup plus fréquente ici que dans les fahlbandes de Kaltberg. La chloanthite s'y présente sous deux variétés: l'une d'un blanc d'argent, contenant 26—19 % de Ni et 4—7 % de Co, se trouve liée à la nickéline; l'autre, d'un gris d'acier, apparaît en général seule, et contient 12 % de Ni et 11 % de Co. Enfin on y trouve aussi de la smaltine sans nickel, dont l'analyse a donné les résultats suivants:

S	2,60 %
As	69,15 „
Co	24,82 „
Ni	—
Fe	3,43 „

D'où résulte la formule: $(Co_{43}Fe_7)\ (As_{90}S_{10})$.

La loellingite forme des incrustations sur la chloanthite et la nickéline, on en trouve rarement des cristaux; elle contient peu de soufre, mais n'a aucune trace de Co et de Ni. Le bismuth et la bismuthine se trouvent sous forme de paillettes. Les fleurs de nickel et de cobalt sont très répandues; leurs incrustations vertes ou rouges indiquent la présence des minerais de nickel et de cobalt.

Les échantillons triés à la main contiennent 10 % de Co et 15 % de Ni. Leur pureté est remarquable: le cuivre, ni le plomb, ni l'antimoine n'y figurent jamais.

Les filons fortement inclinés ont été attaqués sur une hauteur verticale d'environ 200 m. par des galeries superposées poussées en direction. Au sujet de la minéralisation, les filons de sidérose présentent de remarquables différences de profondeur. Les schistes cristallins traversés par la couche contiennent trois fahlbandes qui sont riches en pyrites (pyrite, pyrrhotine, arsénopyrite) et renferment des lentilles et des bancs de quartz et de sidérose. C'est aux points où les filons croisent ces fahlbandes pyritifères, s'unissent à elles et les suivent, que le nickel sulfuré et la smaltine s'y sont concentrés. L'enrichissement des filons métallifères à leur intersection avec des fahlbandes est un phénomène général. Près de *Schladming* en Styrie, des fahlbandes peu inclinées (Branden) sont coupées par des filons verticaux; à ces points de croisement, les minerais de nickel se concentrent dans la „Brande", tous les filons y contiennent des minerais de nickel, ils s'irradient dans la „Brande" même, s'étendent en réseaux filoniens dans sa schistosité et y forment des nids riches en minerai de nickel, longs de 3—6 m. et épais de 0,6 m., qu'on appelle des „Mugeln". Les fahlbandes de *Kongsberg*, de *Skutterud* et de *Snarum* en Norvège s'enrichissent également au croisement des filons, et ces filons ne sont exploitables qu'à l'endroit où ils coupent les fahlbandes. Un rapport analogue entre une couche minéralisée et des filons transversaux existe également dans les régions de la *Forêt de Thuringe* et du *Harz* entre des flötz de schiste cuivreux et des filons de cobalt (Kobaltrücken).

Ces „Rücken“ qui traversent le flötz contiennent de la smaltine, de la rammelsbergite et de la nickéline, et il faut noter que, par ex. à *Riechelsdorf*, au sud-ouest de la Forêt de Thuringe, la minéralisation ne s'étend pas à plus de 2 m. au-dessus ni à plus de 6 m. au-dessous du flötz du schiste cuivreux.

Le filon de „Grand Praz“ s'est prouvé nickélifère jusqu'à une profondeur de 200 m; en dessous on constata que la gangue de sidérose se continue normalement dans la profondeur avec une épaisseur d'à peu près 30 cm., mais que les minerais de nickel et de cobalt attendus manquent totalement. A leur place on trouve dans la sidérose de la chalcopyrite à gros grains, très abondante par endroits.

Les deux filons de *Grand Praz* et *Gollyre* affleurent sur le versant droit de la vallée, à environ 1 km. au sud d'Ayer, au-dessous des mayens de Bourimont.

a) La mine la plus importante du Val d'Anniviers est celle de *Grand Praz*. Le filon, dirigé N. 60° E. et plongeant de 60° vers le sud, a été attaqué entre 132 et 266 m. de hauteur au-dessus de la Navigenze (1400 m.) par des travaux à ciel ouvert et par 7 galeries. Les galeries ont été ouvertes dans l'affleurement et suivent le filon en direction vers l'est. C'est dans les premiers 50—100 m. à partir de l'embouchure que le filon se montra le plus riche en minerai. — On peut voir entre 170 et 200 m. au-dessus de la rivière d'importantes exploitations à ciel ouvert. Le filon de sidérose d'une épaisseur de 30 cm., est accompagné de filonnets secondaires, et les couches de gneiss faiblement inclinées vers le nord se recourbent dans le voisinage du filon dans le sens de son plongement. Les restes visibles de sidérose sont tapissés de fleurs de nickel et de cobalt. C'est entre le fond de la vallée et le Plateau de Bourimont (366 m. au-dessus de la Navigenze) qu'on a constaté l'affleurement du filon. Entre 156 et 266 m. au-dessus de la Navigenze, qui coule à 1400 m. d'altitude, on a ouvert 6 galeries dans le filon qu'elles suivent en direction vers l'E. La galerie IV (la Vieille), à 1600 m. d'altitude, a 400 m. de longueur; au-dessus d'elle s'étendent les galeries III (208 m. de longueur), II (126 m.) et I (126 m.); au-dessous d'elle, les galeries V et VI, ayant chacune 120 m. La longueur des galeries est donc de 1098 m.; les travers bancs, les puits, les cheminées, les exploitations atteignent 402 m.; la longueur totale des excavations est ainsi de 1500 m., équivalant à une surface de

3000 m². Le filon a produit 164 tonnes de minerai; le mètre carré de surface filonienne a donc livré 54 kg. de minerai, contenant 14 % de Ni et 8 % de Co. La partie minéralisée constatée dans le filon a une longueur d'environ 70 m. et une hauteur verticale d'environ 100 m.; elle occupe ainsi une surface de 7000 m², dont on n'a pas même exploité la moitié jusqu'à aujourd'hui.

La mine de „Grand Praz" a été ouverte en 1780 et exploitée jusqu'en 1789 par des mineurs du Harz qui en tirèrent à peu près 1000 q. de minerai pur. Aux environs de 1820, on en sortit de nouveau un millier de quintaux qui furent vendus à l'usine de cobalt de Schwarzenfels au prix de 150 frs. le quintal. — Les six galeries primitives furent remises en exploitation en 1849. En trois ans et demi, c'est-à-dire jusqu'à la fin de 1852, l'extraction se monta à 2254 q. de minerai contenant de 18—36 % de Ni + Co (en moyenne 14 % de Ni et 8 % de Co); la production de 1853 à 1858 atteignit 1030 q., ayant 20 % de Ni + Co. Les 3284 q. (164 t.) rapportèrent 361,704 frs.; les frais ayant été de 185,709 frs., le bénéfice net est de 176,000 frs. La valeur du minerai rendu à l'usine de Sierre était de 2 frs. par kg. (100 frs. par q.).

Depuis 1858, il n'y a plus eu d'exploitation notable à Grand Praz. Une galerie qui, à 1500 m. environ d'altitude, à 23,5 m. au-dessous de la galerie VI, avait été jadis poussée pendant 50 m. dans l'éboulis de pente, a été continuée jusqu'au filon et prolongée encore de 100 m. au-delà. Mais comme les travaux effectués dans le filon à cette profondeur ont montré que la gangue de sidérose n'y renferme que de la chalcopyrite, mais aucun minerai de Ni et de Co, les perspectives sont peu réjouissantes pour l'exploitation de ces métaux.

b) Le filon de „*Gollyre*" est à 450 m. au nord de Grand Praz, à 700 m. environ au sud-est d'Ayer. Il affleure sur la paroi nord de la gorge du Torrent d'Ayer, est dirigé comme elle N. 70° E. et plonge de 70° vers le sud, coupant des schistes micacés et des fahlbandes qui plongent de 25° vers le nord. Le filon est nettement délimité par des salbandes argileuses. Il a été attaqué par plusieurs courts travers bancs partant du sud, et abattu en direction sur 100 m. environ de longueur. Ici aussi on constata que les ségrégations métalliques sont localisées dans le filon aux points où les couches du toit, imprégnées de pyrites, entrent en contact avec lui.

— L'affleurement des fleurs de nickel et de cobalt de Gollyre a été découvert en 1847 et le filon a produit jusqu'en 1850 de 500 à 600 q. de minerai. On assure qu'en 1865 on en a de nouveau extrait 101 q. qui furent vendus 6267 frs. comme smaltine et minerai brut.

2. *Silicates hydratés de Nickel.*

a) Les gîtes de minerais de Ni se rencontrent surtout liés à des roches basiques à olivine (serpentines). Les ségrégations métallifères de ces magmas sont, avec l'excès de magnésie, le nickel, le chrome, le cobalt, ainsi que le platine. Les serpentines, assez répandues en Suisse, sont très pauvres en minerais; dans la serpentine du Geisspfad on a constaté la chromite $(CrFe)^2O^4$.

Dans les serpentines de la Basse-Engadine nous trouvons des silicates hydratés de nickel et l'oxyde de chrome, associés à des magnésites; ces gîtes sont situés au *Schlosshügel de Tarasp*, dans la *gorge de la Clemgia*, à *St-Jon* et au *pont de Schuls-Pradella sur l'Inn*. Le plus remarquable est celui de la gorge de la Clemgia. — Près de *Tarasp*, une zone de serpentine divisée en plusieurs bandes s'étend le long de la rive sud de l'Inn. Dans la *gorge de la Clemgia* à 750 m. au sud de l'Inn, une zone analogue de serpentine été coupée et mise à découvert sur environ 800 m. de longueur. Dans cette zone de serpentine, dirigée N. 60° E. et épaisse de 600 m., apparaît sur 600 m. de longueur un filon transversal, dirigé N. 25° E., plongeant de 60° vers le WNW., et épais de 2—4 m., qui se compose essentiellement de carbonates de Mg, Fe et Ca et qui contient, irrégulièrement réparties, des imprégnations d'un silicate de Ni d'un vert intense. Le carbonate du filon se compose en moyenne de: $MgCO^3 = 76\%$, $FeCO^3 = 16\%$ et $CaCO^3 = 8\%$. Ainsi ce filon constitue le gisement le plus important de magnésite en Suisse. Le minerai de nickel n'est jamais cristallisé, il se présente sous forme de taches et de filonnets vert-clair, dans lesquels on aperçoit des parties grenues d'un brun chocolat. L'analyse du minerai de Ni donne les chiffres suivants:

SiO_2	26,01 %
H_2O	3,30 „
CO_2	27,90 „
Al_2O_3	9,24 „
Fe_2O_3	traces

FeO	5,18 %
CaO	1,90 „
MgO	16,42 „
NiO	10,05 „

Déduction faite des carbonates et de l'argile, nous obtenons pour le minéral nickélifère: $SiO_2 = 66\,\%$; $H_2O = 8\,\%$; $NiO = 26\,\%$, composition qui correspond ainsi à peu près à la formule: $2\,NiO \cdot 6\,SiO_2 \cdot 3\,H_2O$. Il s'agit donc d'un silicate de nickel hydraté, semblable à la comarite et à la röttisite dont la formule est approximativement: $2\,NiO \cdot 3\,SiO_2 \cdot 2\,H_2O$. Le silicate hydraté de nickel de la gorge de la Clemgia se différencie par son manque en Mg de l'important minerai de nickel bien connu, la garniérite (silicate hydraté de nickel et de magnésie), qui apparaît aussi dans la serpentine. La réaction de la perle de borax sur les parties brun chocolat et noires mêlées au silicate hydraté de nickel y décèle la présence du chrome. Nous avons ainsi un intéressant analogue au „minerai chocolat", c'est-à-dire à la garniérite chromifère de la Nouvelle-Calédonie.

On admet que les filons renfermant les silicates hydratés de nickel du type garniérite sont formés par sécrétion latérale, c'est-à-dire par lessivage direct de la serpentine par les eaux superficielles. Dans le gîte de minerais de nickel de la gorge de la Clemgia, il faut aussi admettre que le nickel provient de la serpentine. Mais comme notre serpentine est partout excessivement peu désagrégée — la „terre rouge" caractéristique de la Nouvelle-Calédonie et de Frankenstein en Silésie fait presque absolument défaut —, les quantités importantes de magnésite présentes dans le filon ne se laissent pas expliquer comme étant exclusivement des produits d'un lessivage superficiel de la serpentine. Vraisemblablement, le nickel et la magnésie proviennent d'eaux thermales carbonatées qui dans leur mouvement ascensionnel, ont enlevé à la serpentine son Ni et sa Mg et ont déposé dans le filon la magnésite et le silicate de nickel.

Dès 1860, on a essayé d'extraire le nickel des minerais de la gorge de la Clemgia. Des recherches approfondies ont été faites en 1918. Pour les essais métallurgiques, on a disposé de 6 t. de minerai. 1000 kg. ont donné une fonte de 25 kg. (25 ‰), dont la composition était la suivante:

Ni	=	0,724 ‰
Cr	=	0,516 „
Fe	=	19,648 „
Si	=	3,788 „
S	=	0,324 „
		25,000 ‰

Une tonne de minerai de la Clemgiaschlucht ne rend donc que 724 gr. de Ni, tandis que le minerai à garniérite analogue de la Nouvelle-Calédonie rend p. ex. 40,000 gr. de Ni p. t., soit 55 fois plus.

b) En 1918, on a découvert dans le *Val Nandrò*, à 5 km. au SW. de *Savognin* dans l'Oberhalbstein (Feuilles 414 et 426), un second gîte de silicate hydraté de Ni, de couleur verte. Les échantillons en sont plus beaux que ceux de la gorge de la Clemgia.

Sur le flanc ouest du Val Nandrò, en allant par les hauteurs de Crap Farrèras (2229) et de Martegnas (2674) vers Surcrunas et Gurschus, on rencontre un système très compliqué de couches plongeant vers l'E., composé de porphyre de Rofna mylonitisé, de Trias, de Jurassique (schistes lustrés) et de serpentine (schistes verts).

Le Trias entre Martegnas et Crap Farrèras présente des imprégnations de silicates hydratés de nickel. Il plonge de 10° vers l'ESE. et forme un groupe de couches de 5—10 m. d'épaisseur, composé de dolomie jaune grenue, tantôt litée en gros bancs, tantôt schisteuse. Des schistes bigarrés forment le soubassement de la dolomie et y sont intercalés en fines couches. La couverture triasique est formée de schistes lustrés. — L'imprégnation du minerai de nickel se trouve dans les bancs de la dolomie jaune, spathique ou grenue, puis dans des couches de dolomie rubanée, grenue et par places quartzeuse, enfin dans des schistes calcaires et dolomitiques rubanés finement schisteux. Il semble que c'est dans la dolomie spathique ou grenue que le minerai est le mieux développé et le plus riche. La puissance des couches très inégalement imprégnées est de 5 + 8 + 10 = 23 m.

Ainsi, tandis que, dans la gorge de la Clemgia, le minerai apparaît avec de la magnésite sous forme filonienne, dans le Val Nandrò au contraire le silicate de nickel se présente comme une imprégnation dans une dolomie sédimentaire triasique, qui est d'ailleurs en relation étroite avec des serpentines.

VII. Minerais de plomb et de zinc.

De tous les gîtes métallifères, les filons et les filons-couches (Lagergänge) contenant la galène et la blende représentent les types les plus communs. Dans les Alpes suisses, nous avons à mentionner au moins trente localités, qui se trouvent surtout dans les régions triasiques des Grisons, près de Lugano en relation avec les porphyres, dans le massif de l'Aar et du Mont-Blanc entre la vallée de Lauterbrunnen et le Val Ferret, et enfin dans les schistes cristallins de la zone du Grand St-Bernard.

1. Gîtes d'imprégnation dans le Trias des Grisons.

a) Aux environs de *Scarl* et dans le *Val Mingèr*, au S. de Tarasp, de la galène argentifère et de la calamine, avec gangue barytique, forment des intrusions diversément digitées dans la dolomie de Wetterstein. Les anciens travaux miniers, au-dessus de Schmelzboden près de Scarl, constituent un véritable labyrinthe de couloirs, d'excavations et de galeries. On constate les minerais aux points suivants: 1. Val Mingèr, côté sud à 2200 m. 2. Val de Poch au NW. de Scarl de 2200 à 2400 m. 3. Schmelzboden près de Scarl. 4. Cornet au NW. au-dessus de Marangusa à 2500 m. et 5. Crête NW. du Piz Cristannes de 2900 à 3000 m. Les mines furent principalement en activité au XIVe siècle. La dernière tentative d'extraire des minerais de plomb dans le Val Scarl, eut lieu en 1855. — Dans le *Val Plaun*, sur l'Ofenpass, un gîte de galène analogue fut exploité.

b) Sur le versant N. de la vallée de la Landwasser, à l'W. de Davos, au-dessus de *Schmitten*, la dolomie de Wetterstein du *Bleiberg* renferme de la galène dans une couche de brèche épaisse de 5 à 10 m.; elle fut exploitée vers 1830. Sur le côté SE. des „Züge“ gît, au *Silberberg*, dans des calcaires dolomitiques du Trias inférieur, un banc, puissant d'environ 1 m., imprégné de galène et de blende. Neuf travers bancs ont été poussés pour attaquer le filon. — Les minerais du Bleiberg et du Silberberg furent fondus par la plomberie Hoffnungsau dans la vallée de la Landwasser et dans les fours à zinc de Klosters et de Bellaluna, jusque vers 1848. — Dans la paroi rocheuse de la *Casanna*, au SW. de Klosters d'une part et au *Bärenbühl* dans le Val Spadlatscha au N. du Tinzenhorn d'autre part, la dolomie triasique renferme également des nids de galène argentifère.

c) Sur l'*Alp Taspin*, dans le Schams, au-dessus de Zillis, des calcaires triasiques et des brèches à éléments granitiques renferment des minerais. Les veines de barytine accompagnée de fluorine, avec galène argentifère. chalcopyrite et cuivre gris, atteignent une épaisseur de 5—50 cm. L'exploitation de Taspin est abandonnée depuis 1812.

2. Couches et filons dans les roches éruptives et les schistes cristallins.

a) Dans le massif de porphyres et de porphyrites du *Lac de Lugano*, on trouve assez souvent des filons de barytine, qui sont dirigés ordinairement du N. au S. Ces filons sont fréquemment minéralisés de galène. On a exploité un tel filon dans le *Val Molera*, à 1 km au sud de Porto Ceresio sur territoire italien, tout près de la frontière suisse. Près de *Cernesio*, au-dessous de Carona, au NE. de Figino, la porphyrite est traversée en direction N. 40° W. par un filon de barytine avec de la galène, épais de 30 cm. — Dans la région du *Malcantone*, au nord du Val Tresa, où nous avons déjà mentionné des fahlbandes à pyrrhotines, des arsénopyrites et des pyrites aurifères etc., on connaît aussi des filons et des fahlbandes contenant des minerais de plomb et de zinc. C'est surtout au nord de *Novaggio* entre Miglieglia et Aranno, sur les deux bords de la Magliasina, que la galène et la blende ont été exploitées. Récemment on a découvert dans le granit, au nord d'*Aranno*, un filon, dirigé N. 40° W., dans lequel la blende compacte atteint une épaisseur maximale de 40 cm.

b) Sur la hauteur du *Bernina-Pass*, directement au S. de la grande route, au Pt. 2330, à l'endroit *Camino* (feuille 522), on trouve les traces d'anciennes exploitations. Les gneiss, dont les couches sont presque horizontales, sont traversés par des filons de quartzite, à peu près verticaux, dirigés NNW.-SSE., qui renferment de la galène argentifère.

c) Dans le Bündneroberland près de *Ruis* au bord du Rhin et sur l'alpe *Nadils* dans le val Somvix, on a exploité des minerais de plomb et de zinc. En 1918, on a fait des fouilles vis-à-vis de la station de Ruis au bord sud du Rhin. Dans le verrucano gneissique, sériciteux et verdâtre, dont les couches plongent de 30° vers le SE., on trouve de minces couches métallifères épaisses de plusieurs centimètres, persistant sur quelques mètres en direction et en plongement.

Le minerai se compose d'une galène grenue et d'une blende d'un jaune-clair luisant.

d) Dans le *massif du Gotthard* au nord du Val Piora, dans le *Val Cadlimo*, à l'altitude de 2650 m., trois filons de quartz dirigés N. 20° W. renfermant de la galène ont été fouillés en 1906.

e) Sur le bord sud du *massif de l'Aar*, dans la *gorge de la Massa* près de Bietsch, dans le Haut-Valais, apparaît à 1200 m. d'altitude une fissure filonienne dirigée E.-W. dans des amphibolites de direction SW.-NE. La fissure est ouverte sur une largeur de 10 à 40 cm., elle est remplie de cristaux de quartz, de chlorite et de calcite, entre lesquels on trouve des masses cristallisées de galène et de chalcopyrite dense. La galène contient 0,74 % d'Ag. On fit une tentative d'exploitation vers 1862. Cette fissure rappelle le fameux „Krystallkeller" du Tiefengletscher (Ct. d'Uri), dans lequel on a trouvé avec les grands cristaux de quartz aussi des masses de galènes argentifères.

Au-dessus de la Massaschlucht, sur Belalp, on a aussi exploité de la galène en 1637—41.

Massifs de l'Aar, du Mont-Blanc et des Aiguilles rouges.

Dans la partie SE. du massif de l'Aar ainsi que dans les massifs du Mont-Blanc et des Aiguilles rouges, nous trouvons des imprégnations métallifères de galène et de blende, dans les gneiss et dans le carbonifère. Cette imprégnation a eu lieu, ou le long de fissures transversales (vrais filons), ou le long de zones déterminées qui courent parallèlement à la direction de gneiss et d'amphibolites (filons-couches). De vrais filons se trouvent à *Trachsellauenen* et au *Salantin*, des filons-couches au contraire dans le *Lötschental* et au *Mt. Chemin*.

f) Au fond de la vallée de Lauterbrunnen, près de *Trachsellauenen*, les gneiss très redressés, dirigés ENE-WSW., sont traversés par des filons de quartz et de barytine, contenant de la galène, qui suivent des fissures transversales en direction NNW. Un tel filon se poursuit sur une longueur de 500 m. au Hauriberg, sur le versant ouest de la vallée; il fut ouvert à l'altitude de 1340 m. par la mine „Gnadensonne" et à 1530 m. par celle de „Gute Hoffnung". Des filons semblables furent exploités sur le versant E. de la

vallée, sur l'Höhenalp et sur la Breitlauenalp, à 1700—1800 m. d'altitude. L'importante exploitation des années 1782 à 1805 a montré que les filons sont barytiques et métallifères dans le niveau supérieur, mais qu'à une plus grande profondeur ils deviennent quartzeux et ne renferment presque plus de minerai.

On mentionne que près de Gutannen, dans la vallée du Hasli, il existait, au milieu du XVIIIe siècle, des galeries dans des gisements analogues à ceux de Trachsellauenen.

g) Une des mines les plus connues en Suisse est la mine de plomb et de zinc de *Goppenstein* dans le Lötschental.

Le *Lötschental* coupe l'extrémité sud-ouest du massif de l'Aar. Sur environ 12 km. de longueur, sa partie supérieure a une direction NE.-SW.; près de Ferden, la vallée prend une direction N.-S. sur une longueur d'environ 9 km. jusqu'à son embouchure dans la vallée du Rhône, à Gampel. Sur toute la longueur, les versants sont formés par les schistes cristallins redressés avec direction SW.-NE. et plongement vers le SE. de 60° à 70°. La partie supérieure de la vallée est une vallée longitudinale typique, la partie inférieure une vallée transversale.

La zone de roches contenant le gisement de minerai est intercalée en concordance dans les schistes cristallins du massif hercynien. On peut donc la suivre dans la direction du NE. vers le SW. sur le versant nord-ouest de la chaîne Breithorn-Bietschhorn-Wilerhorn, sur une longueur de 5 km., de Tennern au sud de Ried jusqu'à Goppenstein. Du nord-est vers le sud-ouest, nous trouvons des affleurements de minerai: sur l'Alpe de *Tennern* (2434 m.), à l'*Inner Wilerrück* (2100 m. environ), au *Wilerbach* (2000 m. environ), au *Betzlerrück* (2100 m.), à la *Kleealp* (2150 m. environ), au *Schönbühl* (2100 m.) et au *Roterberg* (1300—1900 m.), En aval de Goppenstein, la zone contenant le gisement de minerai traverse le Lötschental dont la direction est nord-sud. Elle affleure ainsi sur la pente du Roterberg vers Goppenstein, traverse la vallée à 1200 m. d'altitude et se prolonge dans le „*Martinsgraben*“ sur le versant ouest vers le sud-ouest (Feuille 492).

Le gisement, qui contient surtout de la galène dans une gangue formée de quartz et de barytine, est encaissé sur toute son étendue dans une zone de schistes séricitiques et chloriteux, souvent quartzifères, de 20 à 150 m. de puissance. Les profils passant au-dessus de Goppenstein, dans la direction du NW. vers le SE., à travers le Roterberg, indiquent

la position de cette zone dans la série des schistes cristallins du massif occidental de l'Aar. Sur toute la longueur de 5 km., le mur, du côté du NW. de la zone minéralisée, est un gneiss gris, séricitique et schisteux, tandis que du côté du SE., ce sont des roches amphiboliques qui forment le toit. Dans la région des anciens et des nouveaux travaux des mines au *Roterberg*, au-dessus de *Goppenstein*, un banc de gneiss œillé d'environ 80 m. d'épaisseur vient s'intercaler entre le gneiss séricitique du mur et le gîte du minerai. Ce gneiss œillé est un granit-porphyre dynamométamorphisé. Des roches amphibolitiques forment le toit sur une épaisseur d'environ 200 m. Plus loin, vers le sud-est, dans la région du „Stockgraben", apparaissent à l'intérieur de l'amphibolite, de nouveau une couche de roche granitique et une couche de schistes séricitiques; dans cette dernière se trouve également un filon quartzeux contenant de la galène. Dans toutes les parties de la mine de Goppenstein en montant jusqu'à Schönbühl, notre gîte de galène se caractérise de la manière suivante: Entre les deux roches des parois encaissantes, soit du granit-porphyre dans le mur et de l'amphibolite dans le toit, se trouvent dans une masse schisteuse large de 80 m., des injections de quartz, en bancs d'épaisseur variable. Il peut arriver que de telles couches de quartz se présentent plusieurs fois les unes à côté des autres, interrompues par des bandes schisteuses. Elles peuvent aussi se réunir en masses plus ou moins compactes de 3 à 10 m. d'épaisseur, qui peuvent se continuer, en direction et en inclinaison, sur de longs parcours. C'est à l'intérieur de ces lits quartzeux et entre eux que vient se placer le minerai: de la galène compacte et à grain grenu, quelque peu de blende et rarement de la pyrite; la gangue est du quartz, ainsi que de la barytine et de la calcite dans les niveaux supérieurs seulement. — La minéralisation quantitative du gîte métallifère est telle que la masse à exploiter contient de 5 à 10 % de galène. Au *Roterberg* le gîte a été entamé en deux zones séparées d'altitude différente, soit de 1690 à 2050 m. et de 1310 à 1425 m. — Au „*Roterberg*", les anciennes mines sont toutes dans la zone supérieure. Dernièrement, en 1907, on y a exploité une surface filonienne d'environ 2500 m²; 4464 tonnes de produits extraits livrèrent 276 tonnes de galène avec 65 % de plomb. Un m² de surface filonienne donna 1,78 tonne de minerai avec une teneur de 6,3 % de galène. — En août 1900, on attaqua la couche à minerai au niveau de 1310 m. et de 1900 à 1907,

on découvrit un champ filonien de 20,000 m² jusqu'alors intact, à l'altitude de 1300 à 1450 m. Le minerai se concentre dans le gîte en une colonne minéralisée s'élevant à l'E. et occupant environ $^1/_4$ de toute la surface filonienne. Il fut ainsi prouvé que 2500 m² de surface filonienne étaient exploitables. 7000 tonnes de produits extraits rendirent 3500 tonnes de galène avec 65 % de plomb et 360 gr. d'argent par tonne. Le m² de surface filonienne livra 2,8 tonnes de minerai avec une teneur de 5 % de galène. Quant à la teneur de la galène en Ag, on trouve que la galène grossièrement spatique contient 300 gr. d'Ag. p. t., tandis que la variété compacte (Bleischwert) n'en contient que 45 gr. p. t. — Le gîte du Roterberg près Goppenstein montre une remarquable différenciation primaire en profondeur: au niveau inférieur, on rencontre le caractère de la formation quartzeuse du plomb (quartzige Bleiformation), tandis que dans le niveau supérieur se manifestent les propriétés de la formation carbonatée et barytique plomb-zinc (karbon- und schwerspatige Blei-Zinkformation).

A environ 350 m. au mur de la couche du Roterberg apparaît, dans le „Stockgraben", une nouvelle zone avec lentilles de quartz renfermant de la galène.

Le gisement de Goppenstein est connu depuis le XVIme siècle et a été étudié déjà en 1814. Aux niveaux supérieurs du Roterberg, on a exploité dans les années 1840 à 1860. La société „Helvétia" a commencé en 1900 l'installation d'une exploitation tout à fait moderne, mais en 1907 la mine fut de nouveau fermée.

b) En aval de Martigny, près de Vernayaz, la vallée du Rhône est traversée par les gneiss des Arpilles (massif du Mt.-Blanc), le synclinal carbonifère de Salvan et les gneiss des Aiguilles Rouges. On connaît des affleurements de galène dans les gnèiss des Aiguilles Rouges au *Salantin*, sur la rive gauche du Rhône au nord-ouest du carbonifère de Salvan-Vernayaz, en outre sur la rive droite du Rhône, dans les environs d'*Illesses*, dans le gneiss du massif du Mt.-Blanc et dans le carbonifère du synclinal de Salvan. (V. p. 51 et 75.)

Au *Salantin*, à près de 1600 m. d'altitude, à 600 m. environ au sud des chalets de Cocorier (Mine d'or, feuille 483), se trouve une mine de galène d'ancienne date, quelque peu reprise en 1853 et 1855. On y a constaté un filon de quartz avec barytine contenant de la galène; dirigé N. 50° W., plongeant de 60° au NE. et épais d'environ 30 cm., il apparaît

dans des gneiss dirigés N. 30° E. et plongeant au SE. Le filon a été attaqué par deux travers bancs et a fourni de 400 à 500 q. de minerai. Dans le voisinage du filon, au NW. de Cocorier, on trouve des lentilles de quartz avec de la galène en concordance avec le gneiss. Un second vrai filon à galène et à pyrite est attaqué par une courte galerie à 750 m. d'altitude sur la rive nord du Torrent de l'Echelle. Le gneiss dirigé N. 30° E. est ici traversé par une fente verticale dirigée N. 60° W., parallèlement à laquelle court le filon très ramifié contenant des lentilles de pyrite avec un peu de galène. Le gîte métallifère du Salantin est remarquable parce qu'il s'y trouve, comme près de Trachsellauenen, de vrais filons, aux niveaux supérieurs desquels apparaît aussi la barytine. La teneur en Ag de la galène du Salantin est de 0,0163 %.

Près d'*Alesses*, sur la rive droite du Rhône, on a constaté dans le gneiss de vrais filons à blende et à galène, et dans le carbonifère deux anciens ouvrages dans un gisement de galène.

L'un des filons à blende et à galène apparaissant dans le gneiss est 1220 m. d'altitude, directement au-dessus des maisons de Champex au sud-est du village d'*Alesses*. Une galerie d'environ 25 m. de long le suit en direction. Le filon est dirigé N. 80° W. et plonge de 75° vers le sud, tandis que le gneiss encaissant est dirigé N. 30° E. Le filon, épais d'environ 20 cm., est très irrégulier, crevassé et contient dans une gangue quartzeuse et spathique des mouches de blende dense et de la galène à gros grains. — Un second filon analogue se trouve un peu plus haut sur le versant, au-dessus de la Giette, à 1680 m. d'altitude.

Les deux gîtes du carbonifère sont sur la rive droite du Torrent d'Alesses. — Au nord de l'Alpe de la Giette, à 1320 m. d'altitude, les schistes carbonifères dirigés N. 10° E. et plongeant de 60° E. contiennent une couche de 12 cm. d'épaisseur renfermant dans une gangue quartzeuse des lentilles de galène finement grenue et de la blende dense. Le gisement est à découvert sur 15 m. de hauteur, et il est attaqué par une galerie de 10 m. de longueur. A l'avancement, le filon-couche n'a que 5 cm. d'épaisseur et il est stérile. — Dans les „Gorges“ au-dessus de Dorénaz, à 600 m. d'altitude, au NW. d'Alesses, on trouve un ancien travers banc dans les schistes carbonifères dirigés N. 25° E. Intercalés en concordance dans les „Grauwacken“, deux zones de quartz et de calcaire, épaisses de 40 cm. environ, contiennent la galène à

gros grains. Il ne paraît pas invraisemblable que les deux gîtes du carbonifère près d'Alesses appartiennent à un seul et même gisement.

i) Les roches cristallines de l'extrémité NE. du massif du Mont-Blanc, renferment des filons-couches quartzeux avec galène et blende dans la vallée du Rhône au-dessus de Charrat, près de *Botzi*, à la Tête des Econduits sur le *Mont Chemin*, et dans la vallée de la Drance à l'ouest de Sembrancher près des *Trapistes* du côté nord, et sur la pente nord du *Catogne* ainsi que près du *Borgeau* du côté sud de la Drance.

1. A $1^1/_2$ km au SW de *Charrat* dans le ravin de *Botzi* (Feuille 526), les gneiss chloriteux, plongeant de 50° vers le SE, renferment des lits quartzeux, épais de quelques centimètres, qui contiennent de la pyrite et de la galène. On y a fait quelques grattages.

2. Le Mont Chemin près Martigny forme au nord de la Drance et au Sud du Rhône, l'extrémité Nord Est du massif du Mont-Blanc. (V. p. 193.) Au mur de la protogine, qui traverse en direction SW-SE la Drance à 1 km. à l'est de Bovernier, nous trouvons une zone, large de 2 km., de gneiss séricitiques, traversés par de nombreux filons de quartzporphyre, d'aplites et de granitporphyre avec des lentilles d'amphibolites. Dans cette zone les gneiss renferment les filons-couches de la Tête des Econduits au NW et ceux des Trapistes au SE.

A l'est de la *Tête des Econduits*, le gneiss sériciteux très riche en quartz, plongeant de 70° vers le SE, renferme une série concordante de lentilles de quartz qui, en partie minéralisées, ont été exploitées pour la galène. Le gîte métallifère a été découvert par deux galeries et un puits incliné profond d'environ 30 m. On recoupa plusieurs lentilles minéralisées de galène, de blende et d'un peu de chalcopyrite. Cette zone quartzeuse minéralisée se suit sur 400 m. en direction.

3. Dans la pente abrupte du „Mt. Chemin", à l'est de la galerie de la Monnaie, au-dessus des *Trapistes*, un filon-couche est intercalé dans les gneiss traversés par des quartzporphyres et des amphibolites. L'affleurement du filon se poursuit dans la paroi rocheuse sur une longueur de 120 m. Il plonge de 80° au SE et le mur est marqué par une „Lettenkluft". La mine de galène des „Trapistes" a été exploitée au commencement du XIXième siècle par trois galeries, dont l'inférieure est située au niveau de la grande route, la supérieure à 70 m.

au-dessus. Dans la galerie supérieure (à 753 m. d'altitude), le filon a été atteint par un travers banc de 13 m. et suivi en direction. L'exploitation par gradins renversés fut assez importante. A l'avancement ouest à 17 m. du travers banc, le filon a une épaisseur de 80 cm. à 1 m. Dans la galerie intermédiaire (à 713 m. d'altitude), le filon est atteint par un travers banc de 70 m. de longueur et suivi en direction sur 100 m. La galerie de base à 683 m. coupe un petit filon avant d'arriver au grand filon principal à 106 m. du portail. La galerie de direction a une longueur totale de 160 m. Les trois niveaux sont reliés par des cheminées dans le filon. La nature du filon a pu être déterminée à l'affleurement, à l'avancement ouest du niveau supérieur et dans la galerie de base. Le minerai principal est la galène grenue ou cristalline accompagnée de blende et de chalcopyrite en petite quantité. La galène contient 313 gr. d'Ag. p. t. La gangue quartzeuse avec de la barytine contient à l'affleurement, au niveau supérieur et dans la galerie de base, de la fluorine, qui, d'un blanc opaque, semblable à la barytine, constitue des masses cristallines avec les faces de clivage octaédrique. L'apparition de cette fluorine est un accident tout à fait anormal dans nos filons quartzeux de galène et de blende. Dans la galerie de base, la teneur en fluorine équivaut au tiers de la masse totale du filon, de sorte que la quantité de fluorine mise à découvert est estimée à 2500 m^3.

En 1918 les travaux de la mine des Trapistes furent repris; les anciennes galeries ont été déblayées et c'est à cette occassion que fut constatée la présence de fluorine, inaperçue jusqu'alors. Vu la minéralisation très faible du filon, c'est la fluorine qui constitue la valeur industrielle de la mine.

4. Les gisements du Mt Chemin se continuent vers le sud sur le bord oriental de la protogine du Mt Blanc. Sur le versant nord du *Catogne*, à environ 200 m. au-dessus du fond de la vallée, se trouve un gîte de galène, situé dans la direction de celui des Trapistes. Plus au sud, nous trouvons la galène en relation avec de la blende et de la pyrite sur les côtés nord et sud de la *Combe d'Orny* et enfin à la »*Tita moutze*« au sud de la Reuse de Saleinaz. — Dans le mur du gisement de pyrite *d'Amône*, nous trouvons la galène dans le grès du Lias et dans le quartz-porphyre schisteux. (V. p. 200.)

5. Au SW du village du *Borgeau* sur la Drance, à 2 km. au sud de Martigny-Bourg, dans les gneiss plongeant de 80°

vers le SE, on rencontre une série de filonnets de quartz, qui plongent de 35° vers le NW et sont par places faiblement imprégnés de galène.

Zone du Grand St-Bernard.

Les schistes cristallins de la zone Bérisal-Grand St-Bernard qui plongent faiblement au SE. dans la région de la vallée de Tourtemagne, du Val d'Anniviers, du Val d'Hérens, du Val d'Hérémence, du Val de Bagnes et enfin du Val d'Entremont, renferment de nombreux gisements de minerais. A côté des fahlbandes à minerais de cuivre et de nickel de la vallée de Tourtemagne et du Val d'Anniviers (v. p. 214), nous trouvons ici, plus loin vers l'W., les galènes très argentifères de Siviez, Vatzeret, Praz Jean et Blesec au S. de Chippis.

a) Au pied NW. du Mont Gelé, au sud de la Tête des Etablons, sur le col de Verbier, à l'altitude de 2400 m., se trouve la mine de plomb et d'argent de *Vatzeret*. Les gneiss séricitiques, superposés aux quartzites de la Tête des Etablons, sont dirigés N.-S. et plongent de 20 à 25° vers l'est. Au sud du Col, un filon-couche contenant de la galène argentifère leur est intercalé. La couche métallifère est quartzeuse, d'une épaisseur de 10 à 60 cm. et coupée par des failles de direction N.-S. Elle contient la galène en veines d'une puissance de quelques centimètres. De 1850 à 1860 on a construit des galeries horizontales en direction et des descenderies sur une étendue de 430 m². Cent tonnes (33 m³) environ ont été abattues rendant par lavage un schlich, qui contenait 64 % de Pb et 2500 gr. d'Ag p. t.

b) A 4,5 km. au NNE. de Vatzeret, sur l'arête entre le Val d'Isérables et celui de Nendaz, à l'altitude de 2440 m. se trouve sur l'*Alpe de Siviez* une autre mine de plomb et d'argent, qui fut exploitée de 1849 à 1860. (V. feuille 486, „Mine d'Anthracite".) Les schistes chloriteux plongent de 30 à 40° vers le nord et sont traversés par des failles. Ils renferment plusieurs couches d'une barytine finement granuleuse, épaisses de 5 à 50 cm. La barytine contient des veines de galène avec peu de blende et de chalcopyrite. La teneur en Ag de la galène est de 2000 gr. p. t. D'après un plan de 1861, il y avait une dizaine de galeries dirigées vers le nord, qui suivaient le filon dans le sens du plongement. De l'W. à l'E. nous trouvons les mines: Monguon, La Nappe, L'Espérance et Siviez, dont les galeries ont livré avec un

abatage de 600 m³ environ, 150 t. de minerai. — Au Torrent d'Allioux, à 1950 m. d'altitude, à 1 km. au NE. de la mine de Siviez on a gratté un affleurement d'un filon-couche renfermant de la chalcopyrite et de la galène.

c) Dans le Val d'Hérens, près de *Praz Jean*, on trouve sur le versant droit de la vallée, la mine de „La Barma", sur le versant gauche, celles de „Comtesse" et de „Maison Vieille". — Le Val d'Hérens (Val d'Evolène) traverse, de St-Martin jusqu'au-dessous d'Evolène, les schistes cristallins, dirigés W.-E., plongeant vers le sud, de la zone du Grand St-Bernard, parmi lesquels se trouvent surtout les gneiss chloritiques, les phyllites à albite, et encore des schistes amphibolitiques. Toute la masse de ces schistes où apparaissent diverses couches minéralisées, est légèrement plissée et plonge en général au SE.

1. Près de „*La Barma*", à 240 m. au-dessus du fond de la vallée, il y a des schistes amphibolitiques dirigés N. 80° E. et inclinés de 70° vers le sud. Ils contiennent, intercalé en général en concordance avec eux, un filon-couche minéralisé de 5—10 cm. d'épaisseur avec une gangue quartzeuse. Le minerai est de la blende grenue et de la galène dense (Bleischweif), et il renferme de façon caractéristique, comme celui de Goppenstein, des morceaux de quartz aux arêtes arrondies et des fragments jaunes de carbonates. Ces morceaux de quartz sont en général des individus isolés. La tonne de minerai a produit 35 % de Pb et 1000 gr. d'Ag. par tonne. — L'affleurement plongeant fortement vers le sud a été jadis attaqué par 5 galeries superposées poussées en direction vers l'est; deux sont praticables sur 40 à 50 m. de longueur chacune; les différentes galeries sont reliées par des cheminées. On a repris récemment les travaux suspendus depuis 1855.

2. La mine „*Comtesse*" est sur la pente abrupte au-dessus de Praz Jean. On y extrait de la galène argentifère et de la blende. On y connaît deux filons principaux, accompagnés de filons secondaires. Ils gisent dans des schistes verts chloritiques à albite. Les schistes ont une inclinaison variant de 60° à la verticale et une direction générale N. 60° E.

Le *filon principal I* a été exploité surtout dans quatre galeries, à 1412, 1429, 1453 et 1476 m., qui ont respectivement 215, 270, 182 et 55 m. de longueur. Les galeries sont reliées entre elles par un grand nombre de cheminées, et le dépilage est effectué par gradins renversés avec remblayage

complet. La surface attaquée du filon est de 20,000 m² environ, dont un cinquième est dépilé. La direction du filon suit celle des schistes, mais son plongement, de 60° en moyenne, paraît par endroits moindre que le leur. Dans l'ouvrage qui, à 1453 m. d'altitude, suit la couche de galène, épaisse de 3—8 m., du filon principal, un travers banc de 7 m. poussé vers le mur, mit au jour des filons secondaires de 2—3 cm. d'épaisseur. Les filons présentent les caractères ordinaires des filons-couches alpins: la roche encaissante se colle aux surfaces-limites des filons, l'épaisseur de la couche est variable, présentant des lentilles de 30—40 cm. d'épaisseur (descenderie à 1413 m.) qui s'amincissent par places en minces filets dans des fissures remplies de „terre rouge".

Les minerais du filon principal I sont surtout de la galène argentifère cristalline et de la blende. Un minerai dense, la „blende amorphe", constitue un filon de 2—3 cm. nettement délimité, qui a été atteint par la galerie à 1439 m. et par une cheminée à 1470 m. d'altitude. Ce minerai consiste en un fin mélange de blende et de galène; des grains de quartz arrondis y sont inclus, comme dans un porphyre; de la blende cristalline forme la salbande. Avec la blende cristalline apparaissent des efflorescences jaunâtres et terreuses que l'on a reconnu comme de la greenockite (CdS). Ce minéral se présente comme une fine efflorescence jaune-soufre à jaune-olive, particulièrement apparente sur la blancheur de la gangue quartzeuse dans le voisinage de la blende brune grossièrement cristalline. Il pénètre en outre dans les interstices de la gangue plus ou moins imprégnée de blende à la salbande du filon. La blende paragénétiquement liée à la greenockite ne contient que très peu de cadmium. Cependant la greenockite doit être ici aussi regardée comme un produit de décomposition de cette blende. Dans les Alpes orientales, on connaît de la greenockite dans les gisements de galène, également métasomatiques, de Raibl et de Bleiberg en Carinthie, dans les filons près de Rabenstein et Guggenbach en Styrie, et dans ceux de Schneeberg dans le Tyrol.

La gangue du filon principal I est surtout du quartz; les carbonates et les minerais sulfurés de fer et de cuivre y sont rares. On observe des filons transversaux dans la gangue, de même que des fragments de roche encaissante dans le minerai. — Les minerais oxydés de plomb et de zinc, la „terre rouge" des mineurs apparaissent surtout à la salbande des filons dans les zones de dislocation.

Le *filon principal II* est à 25 m. dans le mur du premier. Il est attaqué à l'affleurement et suivi par trois courtes galeries, à 1300 m. (25 m. de long), 1372 m. (65 m.) et 1397 m. (30 m.) La galerie la plus élevée montre près de l'embouchure trois filons qui plongent d'environ 60° vers le sud, et dont l'inclinaison décroît à l'intérieur de la mine. Le remplissage de fente n'a que quelques centimètres d'épaisseur, se renfle parfois en poches et consiste principalement en galène et en „terre rouge".

Les minerais sont descendus de la mine (1440 m.) par un câble à Praz Jean (1130 m.) où ils sont concassés à la main et triés sur des cribles. Les produits du scheidage sont: 1. de la blende cristalline (30—40 % de Zn), 2. de la blende amorphe (24 % de Zn et 6—12 % de Pb), 3. de la galène (20 % de Pb, 44 kg. d'Ag p. tonne) et 4. de la „terre rouge" (10 % de Pb et 20 % de Zn). Un échantillon moyen a donné: 57,2 Pb, 12,6 % Zn et 200 gr. d'Ag par tonne.

La mine Comtesse était déjà exploitée en 1850; les travaux furent repris en 1895 par une société belge, et au printemps 1913 par une société française, la „Compagnie centrale d'Exploitation et Recherches minières".

3. La *mine „Maison vieille"* est située à environ 1500 m. d'altitude, à 400 m. au sud de la mine Comtesse. Ici, des gneiss chloritiques plongent de 25 - 40° vers le sud en se redressant davantage par endroits. Les minerais sont ici aussi intercalés en concordance dans les schistes de gneiss, sous forme de filonnets et de lentilles avec ou sans gangue quartzeuse. La galène et la blende y forment des accumulations massives contenant des fragments arrondis de quartz.

d) A l'entrée du Val d'Anniviers riche en gîtes métallifères, on trouve dans la gorge de la Navigenze, en partant de la vallée du Rhône: tout d'abord une bande de schistes carbonifères avec de l'anthracite; au-dessus, des calcaires avec du gypse et du trias; enfin une zone, large de 800 m., de schistes cristallins, recouverts eux-mêmes de trias (Pontiskalk). C'est dans ces schistes cristallins, au-dessous de la grande route de *Niouc*, que se trouve la vieille mine de *Blesec*. Le tout-venant extrait en 1850 contenait 56 % de Pb et 1450 gr. d'Ag par tonne. Actuellement encore on y voit 4 galeries de 20—40 m. de longueur, poussées de l'ouest à l'est parallèlement à la direction des gneiss plongeant de 60° vers le sud. Les intercalations minéralisées se présentent sous forme de zones de fahlbandes, dont les unes ne sont reconnaissables que

par des efflorescences de malachite et dont les autres contiennent des bancs de quartz atteignant jusqu'à 30 cm. d'épaisseur, avec de la blende, de la galène et de la chalcopyrite. La minéralisation présente une analogie frappante avec les gisements du Val d'Hérens.

VIII. Minerais alluviaux.

Sables aurifères.

a) Les alluvions des torrents s'échappant radialement des versants richement modelés du *Napf*, formés de bancs horizontaux de nagelfluh polygénique du miocène supérieur, sont aurifères en plusieurs endroits. On a aussi découvert des paillettes d'or dans les cailloux de quartz de la nagelfluh. Dans le résidu de sables finement lavés, on prétend avoir trouvé 0,42 % d'or et 6 % de fer magnétique. Les localités les plus souvent citées sont: Enziwiggern près d'*Hergiswil*; vallée de la Luthern près de *Luthern*; vallées de la Grünen et ses affluents: Hornbach, Kurzenei, Laternengraben et Dürrgraben à l'E. de *Sumiswald*; Gohlgraben et Frittenbachgraben au N. de *Langnau*; enfin les deux Goldgraben à l'E. et à l'W. du sommet du *Napf*.

b) Les deux Emme qui descendent du Napf, amènent des sables aurifères à la Reuss, à l'Aar et au Rhin. On lava de l'or à *Emmen*, au confluent de la petite Emme et de la Reuss près de Lucerne. Il y avait de 1834 à 1839, le long de l'Aar, entre Aarwangen, Olten et Waldshut, environ 40 laveries d'or en activité à Aarau, Brugg et Coblenz-Waldshut.

Sur le Rhin on lavait de l'or, en aval de Coire, au XVIIe siècle.

Table des matières.

pages

Préface de la Commission géotechnique 3
Préface de l'Auteur 5

I. Charbons-Asphalte. . . . 9

1. Charbons 9

I. Tourbe 11
A. Jura plissé de la Suisse occidentale 13
B. Plateau suisse 14
C. Alpes 16
a) Alpes calcaires septentrionales 16
b) Alpes centrales 16
c) Fonds des vallées 17
D. Versant méridional des Alpes 17
II. Charbons feuilletés (Schieferkohlen) des terrains glaciaires . 17
Mörschwyl, Wildhaus, Uznach, Wangen, Eschenbach, Dürnten, Unter-Wetzikon, Zell et *Gondiswil, Strättligen, Signal de Bougy*
III. Houilles (Braunkohlen) du Tertiaire et du Mésozoïque . 22
A. Charbons du Tertiaire 23
1. Charbons tertiaires du Jura. 23
Le Locle, Oberdorf, Soulce, Anwil.
2. Charbons de la Molasse et de la Nagelfluh subalpine 24
a) Molasse supérieure d'eau douce de la Suisse orientale 26
Egelshofen-Mammern, Wiesholz, Herdern, Wellhausen, Murkart et *Oberwyl, Elgg, Sennhof* et *Kollbrunn, Bichelsee, Embrach, Raat, Greifensee, Käpfnach, Gottshalden, Adliswil-Riedhof, Sellenbüren - Spreitenbach, Hägglingen, Gontenschwyl* et *Büron.*
b) Molasse d'eau douce inférieure de la Suisse occidentale 29
Wynau, Frienisberg, Gurnigelwald, Granges-de-Vesin, Marsens, Corpataux, Châtillens et *Oron, Savigny, Semsales, Paudex-Belmont.*
c) Nagelfluh subalpine 32

pages

1. Nagelfluh d'eau douce du Miocène supérieur . . 32
   a) Hörnli 32
      Niederuzwyl; Littenheid, Dussnang, Tischingen; Schmidrüti, Schalchen, Lipperschwendi, Kümmiwiesli.
   b) Napf 33
      Hornbachgraben, Kurzeneigraben, Luderenalp; Langnau, Trubschachen, Blapbach; Fontannen.
2. Grès marins du Miocène inférieur (Burdigalien). 33
   Lucerne et *Littau.*
3. Nagelfluh d'eau douce du Miocène inférieur et de l'Oligocène. 33
   Martinstobel, Sturzenegg; Baschloch, Engenhütten; Rufi; tunnel du *Ricken,; Echeltswil; Hohe Rone; Schlundtobel, Schwarzflühli; Escholzmatt; Eriz; Grüsisberg.*
4. Nagelfluh marine du Miocène inférieur . . . 36
   Mont Pèlerin-Attalens.

3. Charbons éocènes des Alpes 36
   Gadmer-Fluh; Engelhörner; Ralligstöcke, Niederhorn, Gemmenalp; Kandergrund; Diablerets.

B. Charbons du Mésozoïque 37
1. Jura. Charbons du Keuper 38
   1. Jura tabulaire 38
      Kaisten, Magden, Sulz.
   2. Jura plissé 38
      Mapprach, Titterten, Bretzwil, Neuhäuslein, Cornol, Balmberg.
2. Alpes. Charbons des Couches à Mytilus . . . 39
   Erlenbach, Weissenburgberg; Boltigen, Ebnetalp, Waldried; Gastlosen; Diemtigtal; Rocher des Rayes, Laitmaire, Gérignoz; Vuargny; La Calaz, Combres, Blancsex, Revereulaz, En Plex.

IV. Charbons du Carbonifère 41
A. Distribution géographique de la formation carbonifère dans l'Europe centrale 41
B. Le système carboniférien dans le Valais et sa continuation jusqu'au Tödi 45
1. Conditions géologiques de la formation anthracitifère. 45
2. La nature du charbon 55
   1. La composition chimique 55
   2. Les propriétés physiques 61
3. L'exploitation de l'Anthracite 67
4. Description géologique spéciale des gisements et des mines d'anthracites du Valais 69

I⁰ Zone externe 69
A. Du col de Balme jusqu'à la Dent de Morcles (Massif du Mont-Blanc) 69
1. La zone synclinale Trient-Vernayaz 69
   Trient, Tête noire, Finhaut; Salvan-Vernayaz.
2. Le synclinal Collonges-Dorénaz 70
   Plex sur Collonges (Mine Collonges) . . . 71
   Plan de la Mérruna sur Alesses (Mine Dorénaz) 75

pages

B. Du Lötschental au Tödi (Massif de l'Aar) 78
Alpe de Faldun, tunnel du Lötschberg, Mine Ferden; Wendenpass; Bristenstäfeli; Bifertengrätli.

II⁰ Zone interne (Grand St-Bernard-Sion-Tourtemagne-Simplon) 80

A) Du Grand St-Bernard aux Etablons 80
Col de Fenêtre et *Col de Fontaine; Combe des Planards; Combe Revédin; La Tzissetaz; Mine Champdonne; Mine des Arpalles; Sur le Six et Sapey; Vernay-Fontanelle; les Etablons.*

B) D'Isérables à Bramois 82

1. *Carbonifère dans le mur de la zone médiane de Trias* 82
Isérables 82
Nendaz (Mine Mauvais Four) 87
Aproz 90

2. *Carbonifère dans le toit de la zone médiane de Trias* 93
Salins 93
Mine Chandoline 94
Mine Bramois 98

C) De Grône au Simplon 101

1. *Le Carbonifère sur le versant sud de la vallée entre Grône et Chippis* 101
Grône-Réchy 101
Chalais-Chippis 105

2. *Le Carbonifère sur le versant nord de la vallée près de la station de Granges* 105
Granges

3. *Le Carbonifère entre Tourtemagne et le Simplon* . 106
La mine *Tourtemagne; Stalden* près de Viège.

III⁰ Le Carbonifère en lambeaux de recouvrement sur le Flysch 108
Tanninges; Morgins.

C. La formation carbonifère près de Lugano 109
Manno; Val Colla.

D. Sondages pour la recherche de la houille dans la Région du Jura 110
Weyherfeld; Mumpf; Cornol 110
Buix 111

V. Graphite 115
Brocard, Branson; Roveredo; Medeglia, Montagnola.

2. Asphalte — Pétrole — Gaz naturels — Schistes bitumineux 116

I. Asphalte 116

A. Dans l'Oligocène de la plaine du Haut-Rhin . . . 117
Allschwil près de Bâle.

B. Dans le Jura occidental, „zone hydrocarburée du Jura" . 117

1. Gisements crétaciques 117
Val de Travers; Auvernier, Bevaix, St. Aubin; Mont Chamblon, Goumoëns-le-Jux, Valeyres-sous-Rances, Mormont; Pays de Gex, Divonne, Villeneuve, Thoiry; Bellegarde-Mijoux, Lélex, Chézery, Forens; Seyssel, Challonges et *Volland; Mussiège, Lovagny* et *Chavaroche.*

pages
2. Gisements jurassiques et triasiques 121
a) *Soleure; Tunnel de Granges; Noiraigue; Couvet-la Brévine; Chable; Les Brenets; Epoisats; Orbagnoux, Corbonod, Anglefort; Lac d'Armaille, St. Champ-Chatonod, Belley* 121
b) *Torcieu, Vaux* 122
II. Pétrole 122
A. Zone hydrocarburée du Jura 122
1. Aarau-Murgenthal 122
a) *Aarau.*
b) *Wynau, Murgental, Fulenbach.*
2. Val de Travers 124
3. Yverdon-Orbe 124
Onnens, Mathod, Orbe, Charvornay, Eclépens.
4. Dardagny près de Genève 125
B. Gisements isolés dans les Alpes 128
Potersalp; Lopperberg et *Seewen-Schwyz; Neuschelspass* et *Charmey* dans les Alpes fribourgeoises; *Biferten-grätli* au Tödi.
III. Gaz naturels 129
A. Carbures d'hydrogène combustibles. 129
1⁰ Zone hydrocarburée du Jura 129
a) *Cuarny* près d'Yverdon 129
b) *Orbe* 130
c) *Col de Châtillon,* Fontaine ardente de *St Barthélémy* 131
Origine adventive des hydrocarbures du Jura . . . 131
2⁰ Gaz inflammables provenant de la houille . . . 132
a) *Goldach* près de St. Gall 132
b) *Tunnel du Ricken* 133
c) Mines de *Semsales* 136
3⁰ Gaz inflammables dans les gisements de sel . . 136
Bex; Burgerwald près de Fribourg.
4⁰ Gaz des Marais 136
a) *Altenrhein* sur le lac de Constance . . . 136
b) *Lac de Lowerz* 137
c) *Lac des Brenets* 137
B. Mofettes 137
Schuls-Tarasp.
IV. Schistes bitumineux 138
A. Schistes bitumineux à Posidonies du Lias supérieur . 138
B. Lias et Trias des Alpes orientales et méridionales . 138
1. Versant nord du Monte San Giorgio au nord de Meride 139
2. *Arogno* et *Caprino,* vis-à-vis de Lugano . . . 140

II. Sels. 142

1. Sel gemme 142
A. Le sel dans la plaine du Haut-Rhin 143
B. Le sel de la région rhénane entre Schaffhouse et Bâle . 145
1. Anciens sondages de recherche 145
1. Schaffhouse: *Schleitheim, Beggingen, Unterhallau, Siblingen* 145
2. *Eglisau* 145

pages

3. Jura bâlois et soleurois: *Oberdorf, Zullwil, Adliken, Wisen, Grellingen, Oristal* 146
4. Porrentruy: *Cornol* 146
5. Soleure: *Günsberg, Luchern* 146
6. Bienne: *Bözingen* 146
7. Bâle: *Bettingen; Rothaus, Schweizerhalle-Augst* . 146
2. Position stratigraphique de la couche de sel . . 147
3. Tectonique de la région salifère rhénane . . . 148
1. Entre Rheinfelden et Bâle 148
2. Entre Augst et Rheinfelden 149
3. *Koblenz, Klingnau, Döttingen, Zurzach, Reckingen* 149
4. *Klettgau* 149
Affaissements aux alentours des sondages . . . 150
4. Les sondages depuis 1835 151
5. Les salines 151
C. Le sel de l'Ajoie: *Buix* 154
D. Le sel dans les Alpes 155
1. *Riggisberg* 155
2. *Bex; Sattel, Hondrich, Dallenwil; Cambiola* . . 155
2. Sulfates de magnésie et de sodium 156
a) *Mönchenstein* 156
b) *Mülligen, Birmenstorf* 156
c) *Eberfingen* près d'Unterhallau 158

III. Minerais. 159

I. Minerais de fer oxydé 160
A. Minerais de fer du Jura 160
1. Les Bohnerz de l'Eocène (Sidérolithique) . . . 161
a) Canton de Schaffhouse 162
Stetten, Lohn, Guntmadingen, Flurlingen.
b) Canton d'Argovie 162
Degerfelden, Regensberg, Gebensdorf, Brugg, Küttigen.
c) Cantons de Bâle et de Soleure, au nord du Jura . 163
Allschwil.
d) Cantons de Soleure et de Berne 163
1. *Niedergösgen, Egerkingen - Oensingen, Oberdorf, Granges-Longeau* 163
2. *Balsthal, Matzendorf, Welschenrohr, Gänsbrunnen* 163
3. *Val de Péry* 164
4. Vallée de la Birse en amont de Delémont. . 164
Court, Tunnel de Granges, Sornetan, Corcelles, Guldental, La Verrerie, Soulce, Vermes.
5. Bassin de Delémont 164
Courrendlin, Châtillon, Vicques, Courroux, Développier, Séprais.
6. *Mettenberg* et *Bourrignon* 165
7. *Röschenz, Petit Lucelle, Roggenbourg* . . 165
e) Cantons de Neuchâtel et de Vaud 165
Chevressy, Goumoëns-le-Jux, Mont Chamblon, Mormont.
2. Les minerais de fer du Crétacé et du Jurassique . 165
a) Crétacé 165
Région de *Ste. Croix.*

pages

b) Jurassique 166
1. Jura argovien 167
Herznach, Wölfliswil.
2. Jura bernois 169
Montvoie, Movelier-Orties, Rangiers, Sur Moron, Undervelier.

B. Les minerais de fer des Alpes 171
1. Bohnerz et Nummulitique de l'Eocène . . . 172
A. Bohnerz 172
a) A l'E. de la Reuss 172
Zutreibistock, Hohfaulen.
b) A l'W. de la Reuss jusqu'à Meiringen . . 172
Stierenbachfall, Fürrenalp.
c) Entre Meiringen et Lauterbrunnen . . . 172
Engelhörner, Welli-Grat.
d) Fisistöcke-Gemmi 172
e) Col du Sanetsch-Diablerets 172
f) Dents du Midi 172
B. Nummulitique 173
Lac de Lowerz, Rosenlaui.
2. Gisements marins du Jurassique 174
a) Malm 174
Gonzen; Welli-Grat.
b) Dogger 182
1. Erzegg-Planplatten, Chamoson 182
2. Calanda — Vallée de Lauterbrunnen . . . 186
3. Trias austroalpin des Grisons 187
1. *Casanna* près de Klosters 187
2. *Mont Buffalora* à l'Ofenpass 188
3. *Val Tisch* et *Val Plazbi* près de Bergün . . 188
4. *Avers* 189
a) Gisements dans le Calcaire 190
Alp Schmorras, Versant sud du *Piz Starlera,* Versant nord du *Piz Mazza, Surettatal, Alp Tambo.*
b) Gisements dans le Porphyre de Rofna . .
Alp Sutt Foina, St. Martin et Mutalla Sura, Alp Samada, Val Sterla.
4. Calcaires cristallins du Valais 193
1. *Rosswald* près de Bérisal et Feldbach dans la vallée de Binn 193
2. *Mont Chemin* près de Martigny 193

II. Minerais de Manganèse 196
A. Minerais de manganèse associés à des minerais de fer oxydé 196
a) *Lac d'Anthémoz* 196
b) *Gonzen* 196
c) Grisons: *Casanna, Avers, Alp Danatz* au Splügen . 196
B. Minerais de manganèse dans les schistes rouges jaspoïdes 197
Oberhalbstein: *Parsettens, Falotta, Digl Platz, Uigls. — Piz Lischanna.*

pages
III. Minerais pyriteux de fer et d'arsenic 199
1. Pyrites 199
a) *Javrex* à l'est de Bulle 199
b) *L'Amône* dans le Val Ferret (Valais) 200
c) *Aproz* près de Sion 201
d) Gisements dans les formations gneissiques . . 203
1. *Val Barthélemy* 203
2. *Les Cuisons* près de Salvan 203
3. *Vallée de la Lonza* 204
4. *Agarn* près de Tourtemagne 204
2. Pyrrhotines 204
a) *Valle Morobbia* 205
b) *Medeglia* 205
c) *Val Trodo,* versant nord du Mte. Tamaro . . . 205
d) *Fescoggia,* versant sud du Mte. Tamaro . . . 205
3. Arsénopyrites 206
a) *Salanfe* 206
b) *Alpe della Cassina baggio,* versant sud du Pizzo Rotondo 207
c) *Monte Beglio* au-dessus de Tesserete 207
d) *Fescoggia* 207
e) *Val Minor*, au col de la Bernina 207
4. Pyrites aurifères 207
a) *Gondo ; Alpe Formazzola* 208
b) *Malcantone: Novaggio-Miglieglia, Astano* . . . 208
c) *Goldene Sonne* au Calanda 209
IV. Minerais de cuivre 209
1. Pyrites cuivreuses (Kupferkiese) 209
A. Gisements dans le Verrucano 210
a) *Mürtschenalp:* Erzbett, Hauptgrube, Kalttal . . 210
b) *Alpe Ranasca* et *Andest* 211
B. Gisements liés à des roches basiques . . . 211
a) *Piz Mondin* 211
b) *Lavin* (Basse-Engadine) 212
c) *Rothorn* (Arosa) 212
d) *Oberhalbstein* (Sur et Ochsenalp) 212
e) *Val Puntaiglas* 212
f) *Alpe de la Lex* (Val d'Anniviers) 212
2. Cuivres gris (Kupferfahlerze) 213
A. Gîtes dans des calcaires triasiques 213
a) *Wiesen* et *Filisur* 213
b) *Gruaba* dans l'Avers 213
c) *Knapperkopf* au Calanda 213
d) *Lengenbach* dans la vallée de Binn . . . 213
B. Fahlbandes dans les schistes cristallins . . . 214
a) *Val d'Hérens: Suen, Nax* 214
b) *Val d'Anniviers* 214
1. Les mines entre *St-Luc* et *Chandolin* . . 216
a) *Moulin de St-Luc* 216
b) *Barma-Gosan* 216
c) *Fusette-Collioux* 216

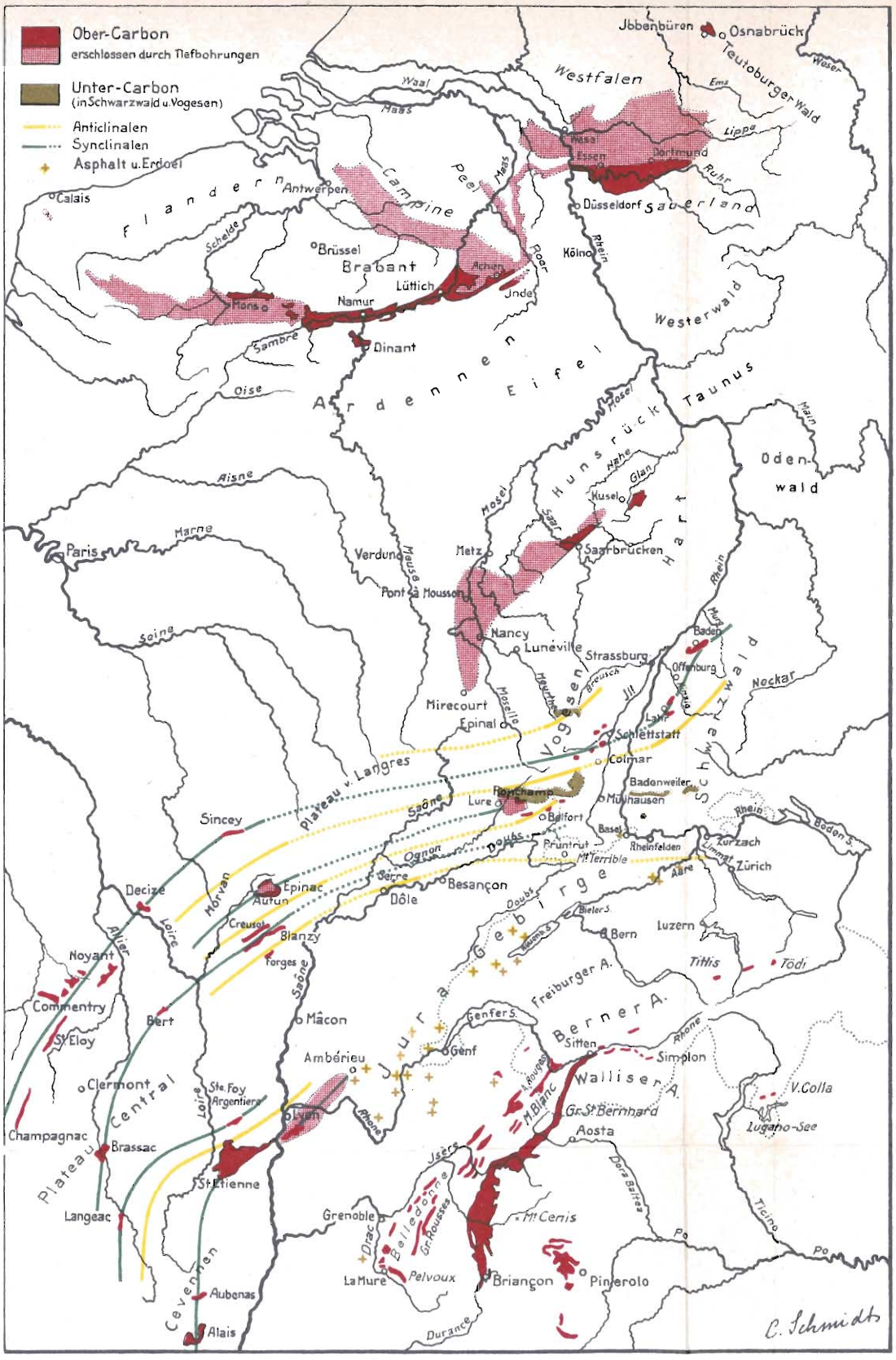
pages
2. Les mines au sud de Grimenz et d'Ayer . 217
a) *Baicolliou, Zirouc-Biolec-Pétolliou* . . 217
b) *Bourimont* et *Lapine-rousse* . . . 220
c) *Ginanztal*, à l'W. de Viège 221
V. Minerais de Molybdène 221
1. Molybdénite 221
a) *Murtschenalp* 221
b) *Baltschiedertal* 221
2. Wulfénite 222
Mine Collioux (Val d'Anniviers) 222
VI. Minerais de Nickel et de Cobalt 223
1. Sulfures et Arséniures de Ni et de Co 223
A. Fahlbandes 224
a) Val Tourtemagne 224
Kaltberg; Brändi, Glacier de Tourtemagne, Bitzen.
b) Val d'Anniviers 227
1. *Plantorin*, 2. *Alpe Tounot*, 3. *Garboula*, 4. *Fang*, 5. *Painsec*, 6. *Rousson*.
B. Filons 228
Grand Praz et *Gollyre* près d'Ayer (Val d'Anniviers)
2. Silicates hydratés de Nickel 232
a) *Tarasp* (gorge de la Clemgia) 232
b) *Val Nandrò* (Oberhalbstein) 234
VII. Minerais de Plomb et de Zinc 235
1. Gîtes d'imprégnation dans le Trias des Grisons . . 235
a) *Scarl* et *Val Mingèr* 235
b) *Bleiberg* et *Silberberg* à l'W. de Davos . . . 235
c) *Alp Taspin* dans le Schams 236
2. Couches et filons dans les roches éruptives et les schistes cristallins 236
a) *Cernesio* et *Malcantone*. 236
b) *Camino* sur le Berninapass 236
c) *Ruis* et *Nadils* (Bündneroberland) 236
d) *Val Cadlimo* (Gotthard) 237
e) *Gorge de la Massa* (Haut-Valais) 237
— Massifs de l'Aar, du Mont-Blanc et des Aiguilles rouges — 237
f) *Trachsellauenen* 237
g) *Lötschental* 238
h) *Salantin* et *Alesses* 240
i) Extrémité NE. du massif du Mont-Blanc . . . 242
1. *Charrat*, 2. *Tête des Econduits*, 3. *Trapistes*, 4. *Catogne-Amône*, 5. *Borgeau* 242
— Zone du Grand St-Bernard — 244
a) *Valzeret* 244
b) *Alpe Siviez* 244
c) *Praz Jean* (Val d'Hérens): *Barma, Comtesse, Maison vieille* 245
d) *Blesec* au S. de Chippis 247
VIII. Minerais alluviaux 248
Sables aurifères . . . . . .
a) Région du *Napf: Hergiswil, Luthern, Sumiswald, Langnau, Goldgraben* 248
b) Emme, Aar, Rhin 248

Composition chimique des tourbes et des charbons suisses, d'après les analyses du »Laboratoire d'essais de combustibles de l'Ecole polytechnique«, faites sous la direction de Mr le Dr P. Schläpfer, Zurich.

Age géologique			Nature du combustible	Localité	I. Combustible exempt de cendres et asséché. Composition élémentaire C	H	O	N	S	Substances volatiles	H disponible	Chaleur de combustion	II. Combustible brut Eau	Cendres	Pouvoir calorifique
					%	%	%	%	%	%	p.1000 C	Cal. kg	%	%	Cal. kg
Quaternaire	Alluvium		Tourbe de Bas-marais	Witzwil, à l'ouest de Kerzers, Berne	60,2	5,4	31,1	2,9	0,4	68,5	25	5679	14,2[1]	5,6	4218
				Orny-Bavois, Vaud	56,4	5,3	33,1	3,2	2,0	74,1	20	5226	14,8[1]	11,6	3551
				Isenriet, au S. d'Altstätten, St. Gall	62,1	5,4	29,2	2,4	0,9	67,6	27	5777	13,2[1]	23,2	3587
			Tourbe de Haut-marais	Les Ponts, Neuchâtel	65,9	5,5	26,5	1,7	0,4	64,9	33	6409	12,7[1]	3,4	5039
				Einsiedeln, Schwyz	56,6	5,8	35,4	2,0	0,2	75,5	24	5482	9,8[1]	2,9	4444
	Diluvium		Lignites feuilletés interglaciaires (Schieferkohlen)	Mörschwil (St. Gall)	59,9	6,0	33,7		0,4	67,7	30	5682	52,5	11,0	1661
				Wildhaus (St. Gall)	61,2	5,6	32,3		0,9	65,9	25	5865	50,4	5,1	2208
				Kaltbrunn (St. Gall)	57,9	5,3	36,3		0,5	64,4	14	5457	40,9	7,8	2425
				Uznach (St. Gall)	59,9	6,0	33,9		0,2	69,2	29	5927	39,6	9,3	2642
				Eschenbach (St. Gall)	56,2	5,4	37,7		0,7	72,3	31	5247	43,0	28,1	1181
				Zell, Lucerne	57,5	5,3	36,1		1,1	68,6	15	5460	66,0	6,0	1077
				Gondiswil, Berne	57,7	5,6	36,2		0,5	67,6	18	5577	70,3	2,7	1016
Tertiaire	Oligocène et Miocène	Molasse d'eau douce sup. de la Suisse orientale	Lignites (Pechkohlen, Braunkohlen)	Herdern (Thurgovie)	69,9	5,3	15,4		9,4	51,3	49	6990	19,8	17,8	4113
				Kollbrunn (Thurgovie)	71,4	5,3	16,5		6,8	52,8	48	7064	17,2	20,2	4229
				Gottshalden pr. Käpfnach (Zurich)	70,7	5,2	18,7		5,4	49,8	41	7151	10,4	29,7	4112
				Riedhof, Aeugstertal (Zurich)	71,3	5,1	15,3		8,3	52,3	44	6893	21,2	21,0	3756
		Molasse d'eau douce inf. de la Suisse occidentale		St. Martin couche II (Semsales Fribourg)	75,7	5,4	12,3		6,6	48,2	51	7697	4,1	9,6	6387
				Jordil couche VI (Semsales Fribourg)	74,3	5,4	11,0		9,3	49,9	54	7683	6,4	16,1	5722
				Bussigny couche VI (Vaud)	72,6	6,1	11,7		9,6	51,6	64	7502	4,9	19,7	5421
				Gal. Grangette, Paudex (Vaud)	78,3	4,5	12,7		4,5	36,6	37	7291	5,1	20,3	5352
				Gal. Tröhler, Belmont (Vaud)	76,5	5,3	11,7		6,5	42,6	50	7714	7,4	10,7	6094
		Nagelfluh subalpine		Schaugentobel près St. Gall	74.4	5,0	18,0		2,6	39,0	37	7086	10,0	20,3	4792
				Rufi près Schänis, St. Gall	77,6	6,1	12,1		4,2	50,9	60	8011	3,4	10,9	6578
				Littau, Lucerne	79,1	5,2	13,2		2,5	35,4	45	7810	9,1	5,1	6358
	Eocène			Niederhorn près Beatenberg, Berne	74,9	5,0	15,5		4,6	39,0	44	7341	7,2	31,0	4313
				Diablerets (Tête de la Houille) Vaud	83,1	3,5	7,3		6,1	15,2	31	7886	3,3	25,5	5478
Mésozoïque	Jurassique	Couches à Mytilus du Dogger	Houille (Pech- und Steinkohle)	Clus près Boltigen (Simmental, Berne)	87,3	5,0	2,4		5,3	32,6	53	8684	0,7	5,4	7906
				Warthaus pr. Erlenbach (Simmental, Berne)	77,5	4,1	13,0		5,4	28,3	32	7305	15,9	20,6	7305
				Mine Waldried p. Oberwil (Simmental, Berne)	84,9	4,2	1,3		9,6	18,8	48	8361	0,8	25,9	5936
				Rocher des Rayes, Vaud	82,2	5,5	10,6		1,7	37,7	51	7996	2,8	26,9	5390
				Vouvry, Bas Valais	79,4	5,1	10,2		5,3	40,9	49	7924	4,1	9,2	6746
	Trias	Keuper		Heuberg près Kaisten. Argovie	79,4	5,1	13,8		1,7	49,7	43	7896	16,2	8,9	5563
Paléozoïque	Carbonifère supérieur	Stéphanien	Houille.	Cimadera, Valcolla, Tessin	84,3	5,7	8,9		1,1	30,9	54	8239	2,6	23,9	5782
			Anthracites	Trient (Zone externe (Col de Balme-Dent de Morcles) Valais)	93,7	1,0	4,8		0,5[2]	13,5	5	7452	7,3	27,7	4829
				Salvan (Zone externe (Col de Balme-Dent de Morcles) Valais)	95,6	1,4	2,5		0,5[2]	7,1	12	7889	6,8	30,5	4841
				Collonges (Zone externe (Col de Balme-Dent de Morcles) Valais)	95,5	1,6	2,2		0,7[2]	8,3	14	7829	4,5	20,4	5589
				Dorénaz (Zone externe (Col de Balme-Dent de Morcles) Valais)	95,6	1,6	2,3		0,5[2]	6,0	14	7918	2,7	26,9	5633
	Westphalien et Stéphanien			Les Arpalles (Zone interne (Grand St Bernard Sion-Tourtemagne) Valais)	94,9	1,1	3,2		0,8[2]	6,8	7	7640	8,6	26,3	4808
				Isérables, Mine principale (Zone interne (Grand St Bernard Sion-Tourtemagne) Valais)	93,6	1,6	3,8		1,0[2]	5,3	12	7689	7,1	37,2	4139
				Isérables, Mine Moulin (Zone interne (Grand St Bernard Sion-Tourtemagne) Valais)	96,2	0,8	2,6		0,4[2]	7,3	5	7832	8,5	29,3	4860
				Mine Mauvais Four, Couche Max (Zone interne (Grand St Bernard Sion-Tourtemagne) Valais)	92,1	1,1	6,4		0,4[2]	12,8	3	7464	10,2	16,9	5343
				Mine Mauvais Four, C. moyenne (Zone interne (Grand St Bernard Sion-Tourtemagne) Valais)	92,7	1,3	5,5		0,5[2]	10,3	6	7582	7,3	24,0	5122
				Mine Mauvais Four, Couche Louise (Zone interne (Grand St Bernard Sion-Tourtemagne) Valais)	91,7	1,4	6,1		0,8[2]	8,0	7	7529	1,6	22,7	5598
				Chandoline (Zone interne (Grand St Bernard Sion-Tourtemagne) Valais)	95,0	1,1	3,6		0,3[2]	7,5	7	7742	5,2	24,9	5277
				Bramois (Zone interne (Grand St Bernard Sion-Tourtemagne) Valais)	95,4	0,9	3,3		0,4[2]	6,3	6	7843	5,5	21,5	5681
				Grône (Zone interne (Grand St Bernard Sion-Tourtemagne) Valais)	96,0	1,1	2,7		0,2[2]	5,4	8	7713	6,8	28,6	4889
				Tourtemagne (Zone interne (Grand St Bernard Sion-Tourtemagne) Valais)	96,0	0,9	2,2		0,9[2]	7,7	6	7729	8,8	41,0	3806
				Goltschenried, Lötschental, Massif de l'Aar, Valais	97,4	1,2	0,6		0,8[2]	5,2	5	7913	9,1	30,0	4671

[1]) Tourbe séchée. [2]) L'anthracite étant très pauvre en soufre organique, il est possible q'une partie du soufre indiqué en % dans cette colonne provienne de la pyrite mélangée au charbon.

Verbreitung des Productiven Obercarbons.



Maßstab = 1:4.000.000 ca.

50 0 50 100 150 200 Km.

MICROSTRUCTURE DE L'ANTHRACITE

Fig. 1.

Mine Grône, Couche Calpini. Structure bréchiforme. Grains d'Anthracite. Quartz fibreux.

× 20. Nic. +.

(Anal. No. 12, p. 63).

Fig. 2.

Mine Dorénaz. Structure bréchiforme. Grains d'Anthracite. Quartz fibreux et Pyrite.

× 20. Nic. ‖.

(Anal. No. 2. p. 63).

Fig. 3.

Mine Chandoline, Couche Transvaal. Structure porphyrique. Grains et pâte d'Anthracite. Quartz fibreux entourant les grains.

× 20. Nic. ‖.

(Anal. No. 7, p. 63).

Fig. 4.

Mine Bramois, Couche B. Structure porphyrique. Grain d'Anthracite avec Quartz fibreux.

× 20. Nic. +.

(Anal. No. 11. p. 63).

Fig. 5.

Mine Grône. Filon de chevauchement I. Structure porphyrique. Grains d'Anthracite dans le Quartz fibreux. Pâte d'Anthracite.

× 20. Nic. +.

(Anal. No. 16. p. 63).

Fig. 6.

Mine Grône. Filon de chevauchement III. Structure pulvérulente Quartz fibreux avec Pennine. Pâte d'Anthracite.

× 20. Nic. ‖.

(Anal. No. 18. p. 63).

MICROSTRUCTURE DE L'ANTHRACITE

Fig. 1

Fig. 2

Fig. 3

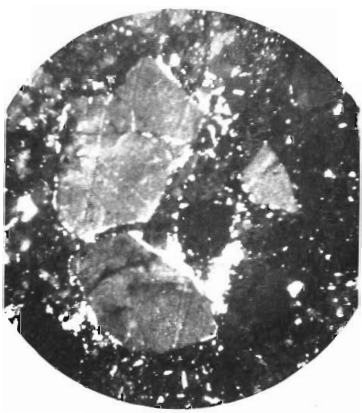


Fig. 4

Fig. 5

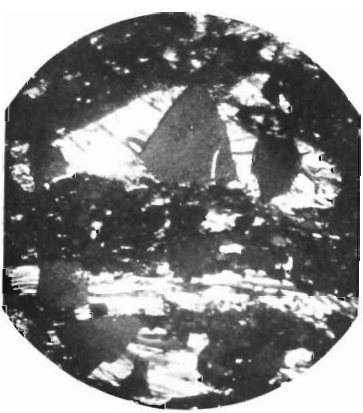
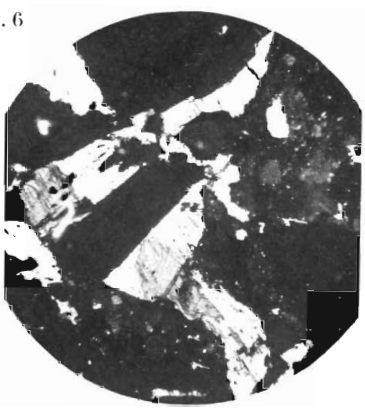


Fig. 6



× 20.

phot. Dr. W. Grenouillet

IV

CARTE

des

Gisements des matières premières minérales

de la

SUISSE

1 : 500,000

I. Charbons. — Asphalte, Pétrole, Gaz naturels, Schistes bitumineux. II. Sels. III. Minerais.

Par le

Dr. C. Schmidt

professeur à l'Université de Bâle.

Publiée par la Commission géotechnique de la Société helvétique des Sciences naturelles.

En commission chez **A. Francke,** Berne 1917.

Légende de la Carte.

I. Kohlen-Asphalt = Charbons-Asphalte.

1. Torf, Schieferkohle, Braunkohle, Steinkohle, Graphit = Tourbe, Charbons feuilletés, Lignites, Houille, Graphite.

   Torfstich und Torfmoor = Exploitation de tourbe et marais tourbeux.
   Diluviale Schieferkohle, Flöz = Charbons feuilletés diluviaux, Couche de charbon. Braunkohlenflöz und Kohlenfeld = Couche de lignite et champ minier. (Tertiäre und Mesozoische Formationen) = (Tertiaire et Mésozoïque). Stollen = Galerie. Schacht = puits.
   Anthrazitflöze der Steinkohlenformation = Couches d'anthracite du Carbonifère.
   Bohrung auf Steinkohle = Sondage à la recherche de la houille.

2. Asphalt, Erdöl, Bituminöse Schiefer, Erdgas = Asphalte, Pétrole, Schistes bitumineux, Gaz naturels.

   Asphalt und Asphaltfeld = Asphalte et champ d'Asphalte.

   Petrolsande = Sables pétrolifères.

II. Salze = Sels.

Steinsalzareal, Lager in 100—400 m Tiefe = Région du sel gemme, couche à 100—400 m. de profondeur.
Salzquellen = Sources salées.
Fündige Bohrung = Sondage avec sel.
Versuchsbohrungen und nichtfündige Bohrungen = Sondages de recherche et sondages sans sel.

Bittersalz = Sulfate de magnésie (sel amer).

III. Erze = Minerais.

1. Oxydische Eisenerze = Minerais de fer oxydés.

   Bohnerz des Eocäns im Jura und in den Alpen = Bohnerz de l'Eocène du Jura et des Alpes.
   Bohnerzfeld = Région du Bohnerz.
   Braun- und Roteisenerzflöze = Couches de limonite et d'hématite;

2. Manganerze = Minerais de manganèse.
   Manganerzflöze = Couches de minerai de manganèse.

3. Kiesige Eisen- und Arsenerze (z. T. goldhaltig) = Minerais pyriteux de fer et d'arsenic (en partie aurifères).

4. Kupfererze = Minerais de cuivre.

5. Molybdaenerze = Minerais de molybdène.
   Molybdaenglanz = Molybdénite.

6. Nickel- und Kobalterze = Minerais de nickel et de cobalt.

7. Blei-Zinkerze = Minerais de plomb et de zinc.

8. Alluviale Erze = Minerais alluviaux.
   Alluvial-Gold = Or alluvial.

KARTE

der

Fundorte von Mineralischen Rohstoffen

in der

SCHWEIZ

1 : 500,000

I. Kohlen, Asphalt, Erdöl, Bituminöse Schiefer, Erdgas.
II. Salze. III. Erze.

Bearbeitet im Auftrage der

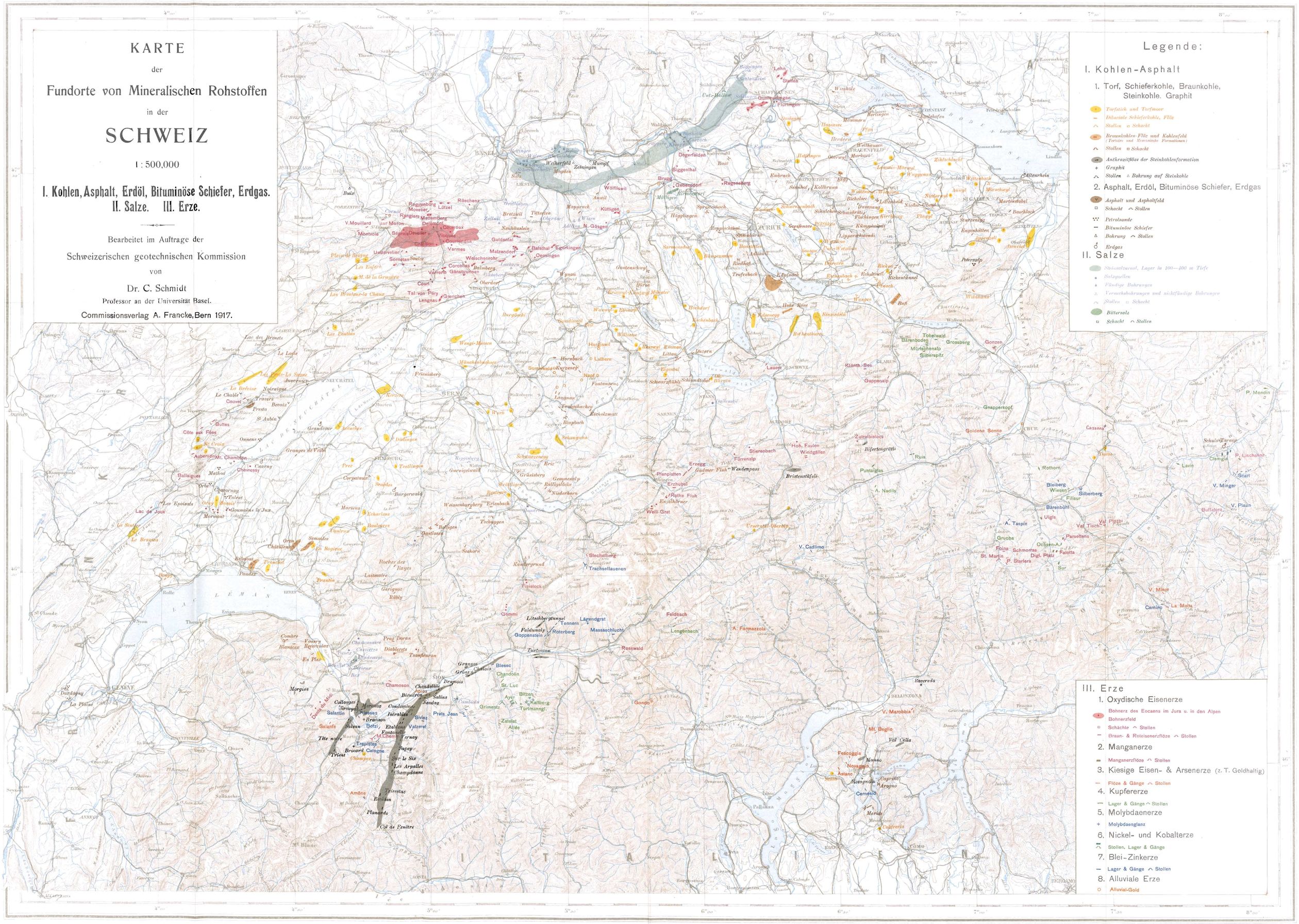
Schweizerischen geotechnischen Kommission

von

Dr. C. Schmidt

Professor an der Universität Basel.

Commissionsverlag A. Francke, Bern 1917.



Maßstab 1:500,000 10 5 0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100 Kilometer.

Geograph. artist. Anst. Kummerly & Frey Bern

Publications de la Commission Géotechnique

de la Société helvétique des Sciences naturelles.

Imprimées aux frais de la Confédération.

Août 1920.

Geotechnische Serie

der Beiträge zur Geologie der Schweiz.

Matériaux pour la Géologie de la Suisse.

Textbände in 4⁰.

		Fr.
I.	**Emil Letsch.** *Die Molassekohlen östlich der Reuss.* 2 Tfn., 5 Karten. 1899	10.—
II.	**E. Kissling.** *Die Molassekohlen westlich der Reuss.* 3 Tfn., 1903	5.—
III.	**J. Früh** und **C. Schröter.** *Monographie der Schweiz. Torfmoore. 1 Moorkarte der Schweiz* 1 : 500,000. 1904	40.—
IV.	*Monographie der Schweizer. Tonlager.* 1 Karte 1 : 500,000. Bearbeitet von **E. Letsch, B. Zschokke** und **R. Moser.** 1907	40.—
V.	*Monographie der natürlichen Bausteine und Dachschiefer der Schweiz.* Mit 1 Karte 1 : 500,000. Bearbeitet von **U. Grubenmann, R. Moser, P. Niggli** und **F. Schüle.** 1914	40.—
VI.	**Arnold Heim** und **Adolf Hartmann.** *Untersuchungen über die petrolführende Molasse der Schweiz.* 13 Tafeln und 36 Textfiguren. 1919	10.—
VII.	**Leo Wehrli.** *Die postkarbonischen Kohlen der Schweizeralpen.* 63 Textfiguren. 1919	15.—

C. Schmidt. *Karte der Fundorte von mineralischen Rohstoffen in der Schweiz.* 1 : 500,000 — I. Kohlen, Asphalt, Erdöl, Bituminöse Schiefer, Erdgas. II. Salze. III. Erze. — Mit Erläuterungen in 8⁰ (76 Seiten). 1917 . . . . . 5.—

C. Schmidt. *Texte explicatif de la Carte des Gisements des matières premières minérales de la Suisse.* 1 : 500,000 — 1. Charbons. — Asphalte, Pétrole, Gaz naturels, Schistes bitumineux. II. Sels. III. Minerais. — Avec trois planches et carte 1 : 500,000 (1917.) Edition française. 8⁰. 256 pages. 1920 . . . . . 15.—

(1 P 2)

554.94 S001 c.1
Texte explicatif de la carte des gis
086 742 240
UNIVERSITY OF CHICAGO