



HAL
open science

Enquête critique sur les ressources minérales de la province de Savoie. Précédée d'une esquisse géologique.

Léon Moret

► **To cite this version:**

Léon Moret. Enquête critique sur les ressources minérales de la province de Savoie. Précédée d'une esquisse géologique.. 1925. insu-00556939

HAL Id: insu-00556939

<https://insu.hal.science/insu-00556939>

Submitted on 18 Jan 2011

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

462

55620

ENQUÊTE CRITIQUE

SUR LES

RESSOURCES MINÉRALES

DE LA

PROVINCE DE SAVOIE

Précédée d'une Esquisse Géologique

(avec 1 carte, VIII planches, 3 figures)

PAR

Léon MORET

Maitre de Conférences de Géologie à la Faculté des Sciences de Grenoble

Univ. J. Fourier - O.S.U.G.

MAISON DES GEOSCIENCES DOCUMENTATION

B.P. 53

F. 38041 GRENOBLE CEDEX

Tél. 04 76 63 54 27 - Fax 04 76 51 40 58

Mail : ptalour@ujf-grenoble.fr

10 JUIN 2004

FACULTÉ DES SCIENCES DE GRENOBLE
LAB. MORET
GÉOLOGIE ET MINÉRALOGIE

LIBRAIRIE DARDEL
CHAMBÉRY

ENQUÊTE CRITIQUE
SUR LES RESSOURCES MINÉRALES
DE LA PROVINCE DE SAVOIE

Précédée d'une Esquisse Géologique

*Bourgeois en laboratoire de
Géologie.*

Moret

55620

ENQUÊTE CRITIQUE

SUR LES

RESSOURCES MINÉRALES

DE LA

PROVINCE DE SAVOIE

Précédée d'une Esquisse Géologique

(avec 1 carte, VIII planches, 3 figures)

PAR

Léon MORET

Maître de Conférences de Géologie à la Faculté des Sciences
de Grenoble

F.



LIBRAIRIE DARDEL
CHAMBÉRY

10169176

Extrait des *Annales de l'Université de Grenoble*,
(Section Sciences-Médecine. — 1^{er} trimestre 1925),
et du *Bulletin de la Société Scientifique de l'Isère*, 1925.

ENQUÊTE CRITIQUE

SUR LES

RESSOURCES MINÉRALES DE LA PROVINCE DE SAVOIE

précédée d'une Esquisse géologique

Par **Léon MORET,**

Maitre de Conférences de Géologie à la Faculté des Sciences
de Grenoble,

Collaborateur au Service de la Carte géologique de France.

INTRODUCTION

Je n'aurais, certes, jamais pensé à entreprendre ce travail sans les pressantes sollicitations et les encouragements de M. Albert Crolard, ancien député de la Haute-Savoie. Il peut, en effet, paraître téméraire, ou au moins superflu, de présenter un nouveau rapport sur le sous-sol minier de la Savoie après les ouvrages si complets et si consciencieux des Verneihl, des Mortillet, des Barbier, des Badoureau...

Mais, outre que ce sont là des travaux déjà anciens, puisqu'ils s'échelonnent sur les années 1807, 1858, 1873, 1899, mon excuse sera que le point de vue duquel je me suis placé a été avant tout celui du géologue impartial.

On a peut-être trop dit ou écrit que les richesses minérales de la Savoie étaient abondantes autant que variées. Là est peut-être l'origine des erreurs, des déboires subis, à coup sûr du mirage excessif qu'exercent les ressources de nos Alpes sur certains

esprits ! Il est bon de revenir sur cette affirmation et de se placer sur un terrain plus juste et plus critique.

Nous sommes très savamment renseignés sur le détail et la variété des produits minéraux de notre petit pays par les auteurs dont les noms sont cités au début de cette Introduction. Sur ce sujet, presque « tout est dit et l'on vient trop tard » ; que l'on ne s'attende donc pas à trouver ici la révélation de gîtes nouveaux ou de filons précieux à exploiter. Nous sommes, par contre, beaucoup moins informés sur la valeur réelle et la hiérarchie de ces produits, ainsi que sur l'intérêt industriel que chacun d'eux peut présenter.

A mon sens, une nouvelle étude sur ce sujet ne doit plus être une statistique bourrée de faits et d'indications, d'intérêt souvent médiocre, au milieu desquels le lecteur soucieux de se renseigner est noyé, mais bien plutôt un exposé simple et aussi précis que possible, donnant, à qui veut s'y intéresser, une idée d'ensemble véridique de ce que renferme le sous-sol de la Savoie, des industries intéressantes créées pour exploiter et de celles susceptibles d'y être développées. En somme, faire connaître les produits minéraux que l'on y trouve, permettre de les apprécier et au besoin de les prospector, montrer ce qui est exploité et exploitable, en insistant non seulement sur les avantages, mais aussi sur les difficultés de l'exploitation, de transport, de main-d'œuvre, sans embellir la réalité. Il ne sera donc pas question dans cette étude sommaire de prouver l'inutilité des efforts, mais, au contraire, de les sélectionner et de les orienter !

Pour arriver à ce but, j'ai tout d'abord fait appel à la précieuse documentation accumulée dans les ouvrages des auteurs précités, puis aux notes personnelles que j'avais à tout hasard réunies jusqu'ici, enfin aux observations nouvelles effectuées pendant les visites des régions qui m'ont paru les plus dignes d'intérêt.

Des concours précieux me sont immédiatement venus de toutes parts. Mon maître, M. le professeur W. Kilian, membre

de l'Institut, n'a cessé de s'intéresser à mon travail; je lui suis profondément reconnaissant des notes ou rapports inédits, ainsi que des indications orales, qu'il a bien voulu me donner.

M. Joseph Révil, président de la Société d'Histoire naturelle de Savoie, dont on connaît la compétence spéciale en ces matières, a mis très libéralement à ma disposition nombre de documents sur les mines métalliques de Maurienne et de Tarentaise.

M. le professeur Gignoux a bien voulu m'aider de ses conseils et me communiquer des rapports inédits sur le même sujet.

A M. Jacques de Maistre, ingénieur civil des Mines, je dois des indications importantes sur les gîtes anthracifères de la Haute-Tarentaise.

M. M. Gojon m'a soumis des documents sur la mine de Saint-Avre, en Maurienne; M. A. Bouchayer, un rapport sur le Houiller des zones intra-alpines françaises, imprimé par ses soins, et dû à la plume de M. W. Kilian; enfin M. Marc Le Roux, conservateur du Musée d'Annecy, quelques notes manuscrites.

Que tous soient ici remerciés.

Le plan choisi pour l'exposé du sujet a été le suivant :

Dans une première partie, il a paru indispensable de donner une esquisse géologique générale de la Savoie. La Savoie participe de toutes les particularités de la grande chaîne alpine, diversité des terrains et de leur arrangement réciproque en zones stratigraphiques et tectoniques, qui expliquent, en effet, la variété de nature et de conditions de gisements des matières minérales.

A l'étude, on se rend compte que ces matières, loin d'être réparties au hasard, se groupent au contraire suivant les zones dont nous venons de parler et qui seront précisément définies dans l'esquisse géologique.

Dans une deuxième partie, se trouvent étudiés successivement, et par chapitres, les principaux de ces produits du sous-sol, soit:

CHAPITRE I. *Asphaltes, bitumes, pétroles.*

CHAPITRE II. *Combustibles minéraux.*

CHAPITRE III. *Minerais métalliques.*

CHAPITRE IV. *Produits divers (chaux, ciments, ardoises, matériaux réfractaires, argile à brique et poterie, gypse, amiante, phosphates, etc...).*

CHAPITRE V. *Réflexions sur les sources minérales de Savoie.*

Au chapitre sur les asphaltes, en grande partie original, a été annexé un article sur l'origine probable de ces hydrocarbures. Il n'était pas inutile, en effet, de dégager de cette étude, à côté des données pratiques, les données théoriques et d'intérêt purement scientifique.

Le chapitre sur les combustibles minéraux est presque entièrement consacré aux anthracites intra-alpins et aux lignites, à propos desquels sont signalées les nouvelles perspectives ouvertes à leur utilisation par les progrès récents de la métallurgie et de l'industrie du chauffage. On n'a pas jugé à propos d'insister sur les tourbières, pourtant si répandues en Savoie, mais dont les produits, souvent médiocres, ont découragé l'exploitation.

Il n'y a rien, je pense, qui ne soit connu dans le chapitre réservé aux minerais métalliques.

Les divers articles du chapitre IV sont traités d'une façon inégale, mais proportionnée à leur importance. Certains produits que l'on trouve partout avec la plus grande facilité (graviers et sables parmi les matériaux de construction, par exemple) ont été laissés systématiquement de côté.

Le chapitre V ne constitue qu'un essai sur les sources minérales de Savoie envisagées sous un angle nouveau et en faisant appel aux idées récentes relatives à leur origine même et à leurs propriétés radio-actives. On trouvera par ailleurs, dans un rapport de Calloud qui date de 1855 et dont il est fait état dans les travaux de Mortillet, Barbier et J. Révil, l'énumé-

ration complète de toutes ces sources, ainsi que celle de leurs propriétés physico-chimiques et thérapeutiques principales. M. J. Révil termine, en outre, un travail très complet sur le régime des sources naturelles de notre région et destiné à rendre de grands services aux spécialistes. Je n'avais donc pas à insister longuement sur ce point.

La grosse question de la « Houille blanche » et dont on peut dire avec raison que c'est en elle que gît l'avenir de l'industrie des Alpes, dont elle constitue la vraie richesse, a été laissée de côté comme sortant du cadre de ce travail. On trouvera d'ailleurs dans l'ouvrage de M. J. Révil intitulé *Les richesses industrielles et minérales de la Savoie*, cité dans l'index bibliographique, un très copieux article sur ce sujet¹.

¹ On consultera également avec fruit les articles de M. le professeur Raoul Blanchard consacrés à la houille blanche en général et parus dans la *Revue de Géographie alpine* : La poussée d'utilisation de la houille blanche dans les Alpes françaises de 1916 à 1918 (t. VI, p. 469) ; La houille blanche en France en 1922 (t. X, p. 609) ; L'électro-métallurgie et l'électro-chimie dans les Alpes françaises (t. XII, p. 363).



PREMIERE PARTIE

ESQUISSE GÉOLOGIQUE DE LA SAVOIE

On a dit que la Savoie était un pays de contrastes : « elle possède les montagnes les plus hautes, les plus tourmentées de l'Europe, d'où l'on descend, en quelques heures, à des plateaux nivelés par d'anciens glaciers, à des vallées basses de 200 m. Les torrents à pentes vertigineuses déboîchent en de calmes lacs; non loin des glaciers fument des sources chaudes; au flanc des monts, l'œil s'émerveille de voir aux emblavures succéder vergers, vignobles, forêts de sapins, hauts pâturages qui touchent aux champs de neiges éternelles¹ ».

Ces contrastes étranges donnent à notre pays sa physionomie géographique et il est remarquable que le géologue qui scrute et dissèque le sous-sol puisse trouver, là aussi, des caractères analogues non seulement dans la nature des éléments de ce sous-sol, mais aussi dans leur architecture.

La Savoie possède les terrains les plus variés, les plus anciens comme les plus jeunes venant souvent s'associer côte à côte en des zones au premier abord disparates, mais qui, à l'examen approfondi, finissent par s'ordonner dans l'harmonieux ensemble (pl. I).

On a depuis longtemps distingué dans les Alpes de grandes zones géologiques parallèles à la courbure de la chaîne. Nous allons voir rapidement ce que deviennent ces zones de terrains à leur passage en Savoie, en faisant une coupe transversale,

¹ *Notre Savoie*, chapitre sur la Géographie et l'Histoire, par A. Moret.

PREMIERE PARTIE

ENSEI GÉOLOGIQUE DE LA SAVOIE

La Savoie était un pays de contrastes : « elle descend, en quelques heures, à des plaines basses de vallées basses de pentes vertigineuses débouchent en de fumer des sources chaudes; voir aux emblavures de sapins, hauts pâturages de neiges éternelles ».

à notre pays sa physionomie que le géologue qui scrute la nature des éléments de ce architecture.

les plus variés, les plus anciens souvent s'associer côte à côte mais qui, à l'examen dans l'harmonieux ensem-

les Alpes de grandes de la chaîne. Nous ces zones de terrains coupe transversale,

par A. Moret.

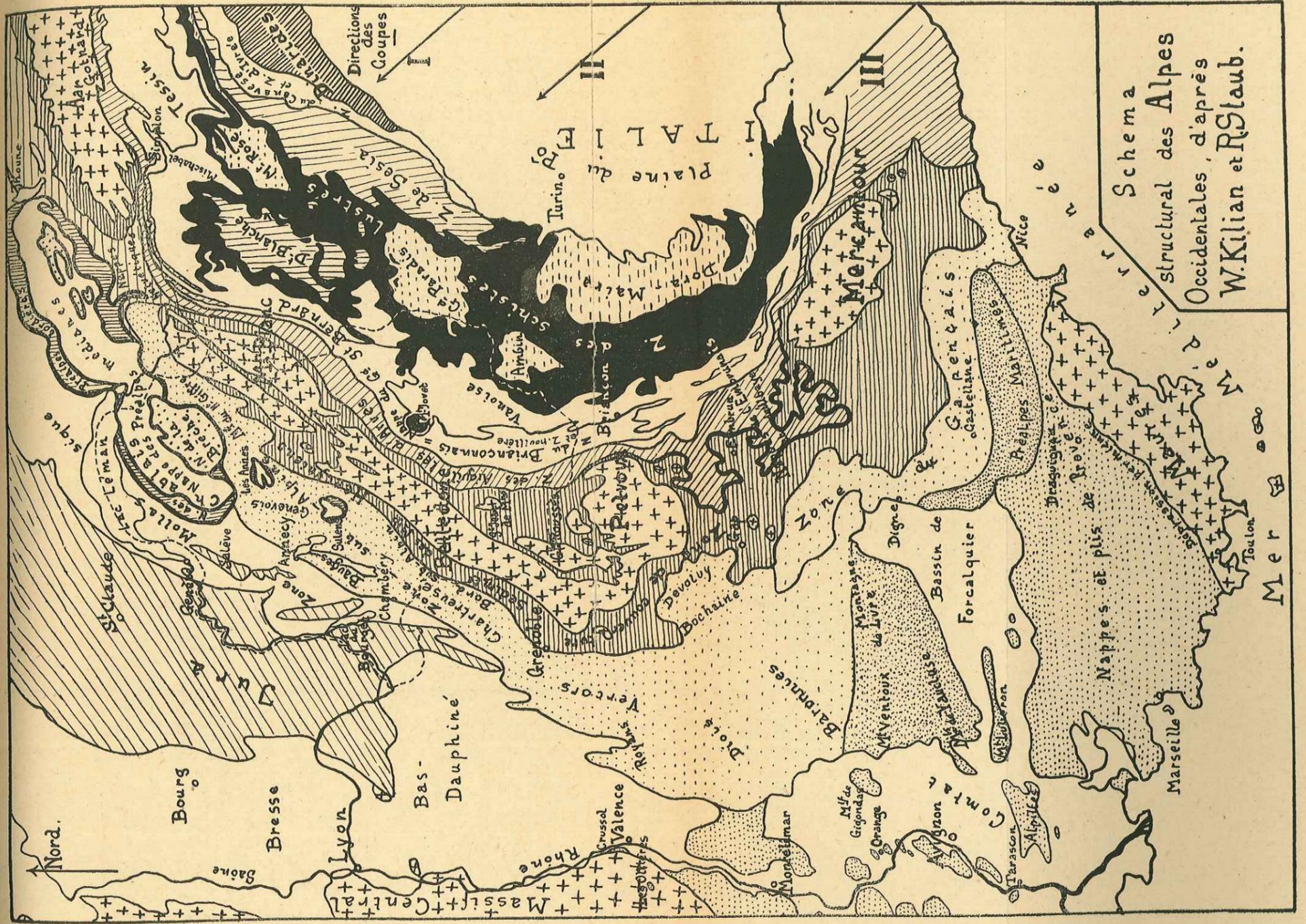


PLANCHE I.

c'est-à-dire perpendiculaire à la direction générale des plis de la région et en nous dirigeant de l'Ouest vers l'Est. Nous analyserons ainsi successivement les plis jurassiens et le plateau mollassique, aux calcaires ou grès imprégnés d'asphalte; les montagnes calcaires de la zone subalpine, dont les flancs recèlent les lignites tertiaires et qui forment un second anneau, véritable rempart aux murailles abruptes en avant des axes cristallins de Belledonne, des Aiguilles-Rouges et du Mont-Blanc; puis ces vieilles chaînes cristallines elles-mêmes et leur couverture de sédiments anciens injectés de précieux minerais; puis encore la zone du Briançonnais, comprenant la plus grande partie de la Maurienne et de la Tarentaise, caractérisée par la vraie houille d'âge carbonifère, où le géologue peut récolter, comme en un archaïque herbier, les plantes caractéristiques des houillères du Nord ou du Massif Central. Enfin, en pénétrant, près du Mont Cenis, dans la dernière zone ou zone des « schistes lustrés », la Savoie, comme l'a dit Charles Lory, participe aux traits géologiques du versant italien.

Les zones alpines ont été, pendant leur élaboration, chevauchées par de formidables plis couchés venus de l'Est et dont il ne subsiste actuellement, comme témoins, que les charnières frontales séparées pour toujours de leurs racines; ces charnières, posées comme un « morceau de terre étrangère » (Bous-sac) au bord du lac Léman et en avant des chaînes autochtones¹, constituent ce que les géologues appellent les « Préalpes du Chablais ». Les terrains n'y ont plus le faciès des roches subalpines et l'on y trouve des charbons qui sont d'âge jurassique. D'autres morceaux de ces nappes (Trias, Lias), isolés par l'érosion (klippes), sont semés sur le Flysch tertiaire de la grande vallée du Reposoir (massifs des Annes et de Sulens) ou sur le plateau d'Araches. Nous allons décrire brièvement ces diverses zones du double point de vue géologique et orographique, après quoi nous en étudierons les rapports réciproques, l'architecture.

¹ Plissées postérieurement.

A. — LES ZONES GÉOLOGIQUES ET GÉOGRAPHIQUES DE LA SAVOIE¹.

1° La zone jurassienne et le plateau mollassique.

Cette région, la plus occidentale de la Savoie, comprend principalement les chaînons les plus orientaux du Jura méridional; nous y rattacherons, pour plus de commodité, le plateau mollassique, continuation de la zone mollassique suisse.

Elle sera définie comme suit : zone caractérisée par des plis de direction Nord-Sud, en gros, dernières ramifications vers l'Est du Jura méridional (car les terrains y ont un faciès jurassien très net); elle confine à une région de faible relief, où les terrains tertiaires et spécialement la « mollasse » prennent un extrême développement.

Cet ensemble, dont le plissement est postérieur au dépôt de la mollasse, est limité vers l'Est par les chaînes subalpines, à l'Ouest par le Jura proprement dit et le cours du Rhône, ainsi que les affleurements tertiaires qui bordent ce fleuve. Il s'étend du parallèle de Chambéry à celui de Genève, mais se prolonge naturellement bien au delà de ces limites, toutes départementales, tant vers Saint-Laurent-du-Pont et l'Isère que vers la plaine suisse.

Le plateau mollassique est très monotone et ne possède pas de sommets importants; il est, par place, recouvert d'un épais manteau d'alluvions glaciaires dont le Mont-de-Sion est un exemple typique. Mais, à l'Ouest de Chambéry, la zone jurassienne p. p. d. comprend les plis suivants qui viennent s'accoler aux chaînes subalpines (par suppression de la grande dépression mollassique), dont ils sont séparés par la faille de Voreppe: de l'Ouest à l'Est, la *chaîne du Mont Tournier*, la *chaîne de l'Épine-Mont du Chat*, délimitant les vallées de Saint-Genix, de Novalaise, de Chambéry-lac du Bourget, enfin la *chaîne de la*

¹ Pl. I et II.

Chambotte, qui sépare la Chautagne de la vallée de Rumilly. Au Nord-Est de Rumilly, la plaine mollassique est séparée en deux portions par l'axe *colline de Lovagny-montagne de la Balme-Salève*, qui émerge de la mollasse et donne ainsi le plateau du Borne à l'Est, la plaine de Saint-Julien à l'Ouest, cette dernière prise en écharpe par la chaîne *Crédo-Vuache-Mont Musiège*, qui détermine la plaine de Saint-Julien-Genève et le bassin Seyssel-Frangy-Bellegarde, borné à l'Ouest par l'anticlinal du *Colombier de Culoz*, prolongement du Mont du Chat.

La plupart des montagnes dont nous venons de parler sont des anticlinaux plus ou moins rompus et déversés vers l'Ouest, alternant avec des synclinaux, le tout de type jurassien, c'est-à-dire que les vallées y sont faites de terrains récents (Tertiaire), tandis que les terrains plus anciens (Jurassique, Crétacé) marqueront les crêtes anticlinales. Elles sont constituées par les assises du Jurassique et du Crétacé (présentant le faciès jurassien, donc un peu différent de ce que nous allons trouver en allant vers l'Est). Le Callovien y renferme des minerais de fer oolithiques; mais l'élément de beaucoup le plus important est le calcaire urgonien, type de calcaire zoogène avec lits crayeux, dans lesquels se sont emmagasinés les asphaltes.

Ces plis sont recouverts de dépôts tertiaires sableux et mollassiques occupant les dépressions synclinales et eux-mêmes bitumineux. Certains dépôts siliceux éocènes, d'origine continentale, peuvent, en outre, et à cause de leur grande pureté, être utilisés comme matériaux réfractaires ou sables de verrerie (Couz, Salève).

Le manteau glaciaire argileux qui a recouvert la région renferme quelquefois, comme à Voglans, des lignites qui ne sont point à dédaigner; indépendamment de ces combustibles, l'argile elle-même, d'excellente qualité, y est assez généralement employée comme terre à poterie fine ou grossière. Certaines vieilles faïenceries savoyardes ont eu leur heure de célébrité (La Forêt-Saint-Ours). Les dépressions marécageuses sont fréquemment comblées par de la tourbe (Epagny, Poisy).

A cette région se rattachent les sources sulfureuses des plis jurassiens (La Caille, Bromines) et les sources alcalines du plateau quaternaire (Evian).

2° La zone subalpine.

Dans le Sud de la Savoie, cette zone est accolée aux chaînons jurassiens, dont elle est séparée par le prolongement de la faille de Voreppe qui constitue donc sa limite occidentale. En montant au Nord, les plis subalpins s'infléchissent vers l'Est et sont alors séparés du Jura par toute la zone mollassique. Ces chaînes forment des arcs emboîtés et s'étendent à l'Est jusqu'aux axes cristallins, dont elles sont séparées par le vaste sillon suivi par le cours des rivières (Arly, Isère), et que les géologues appellent « sillon subalpin ». Ce sillon est dominé à l'Ouest par une haute falaise calcaire continue, c'est le « bord subalpin », limite orientale des chaînes subalpines.

Les principales entités tectoniques qui concourent à la formation de cette zone sont formées de Crétacé et de Tertiaire; elles peuvent être considérées comme une série de plis plus ou moins couchés vers l'Ouest, parfois séparés par des surfaces de chevauchement; ce sont, du Sud au Nord : le massif de la *Grande-Chartreuse*, prolongement du Vercors (Dauphiné) et qui renferme, de l'Ouest à l'Est, les éléments suivants : plis du *Corbelet-Hauterans*, zone anticlinale de *Montagnole* et cirque d'*Entremont*, *Granier*, *Dent de Crolles*. Ce massif de la Grande-Chartreuse se prolonge partiellement par les *Bauges*, qui s'étendent de la cluse de Montmélian-Chambéry au seuil Faverges-lac d'Annecy et dans lesquelles on peut individualiser les plis suivants : l'axe *Semnoz-Nivolet* (seul pli des Bauges qui se continue dans la Chartreuse), *Margeriaz*, *Colombier*, *Trelod*, *Archusaz*, *Sambuy*, *Belle-Etoile*. Comme autres traits orographiques intéressants de cette zone subalpine, citons les deux grandes vallées longitudinales des Déserts¹ et d'Aillons et de

¹ La vallée synclinale des Déserts se poursuit par le col de Leschaux jusqu'au lac d'Annecy; c'est le dernier synclinal où se rencontre le Miocène

nombreuses dépressions transversales dont les plus importantes sont celles de Chambéry et du lac d'Annecy.

A partir du lac d'Annecy et prolongeant en partie les Bauges, commencent les *montagnes dites du Genevois*; de nombreux anticlinaux et synclinaux, plus ou moins déjetés vers l'extérieur de la chaîne, se succèdent de l'Ouest à l'Est : *Mont Rampon*, *montagne de Veyrier*, *Parmelan*, *Soudine*, *montagnes de Saint-Germain*, *montagne des Frètes*, *Dents de Lanfon-Ablon-Glière*, *Roche Murraz*, *massifs de la Tournette*, *du Jallouvre et du Bargy*, synclinal *Serraval-Le Reposoir*, chaîne des *Aravis*, *Mont Charvin*. Les montagnes des Alpes d'Annecy subissent, en approchant de la vallée de l'Arve, un abaissement d'axe remarquable; elles paraissent s'infléchir, comme écrasées par le gros massif de Flysch de Platé compris entre Arve et Giffre. Mais, à partir du Giffre, toutes ces chaînes crétaées et tertiaires réapparaissent brusquement les unes après les autres et atteignent d'emblée une grande hauteur (*Foilly*, *Tuet*, *Bostan*, etc.). Le grand synclinal du Reposoir, qui se continuait à Platé par le synclinal étiré du torrent de *Balme*, se retrouve sur la rive droite du Giffre et près de Samoëns, au-dessous du pli couché, entamé par le torrent du *Clévieux*, qui constitue donc un élément plus interne que les précédents et à partir duquel vont faire suite vers le Sud-Est toute une série de nouveaux plis constituant les noyaux jurassiques des précédents : *Poinle de Sambet*, *Pic de Tanneverge*, *Fer-à-Cheval*, *Grenairon*, etc. Ajoutons que tous les plis des hautes chaînes calcaires situées en avant de l'anticlinal couché du Clévieux concourent, en se déversant de plus en plus vers

(mollasse); plus à l'Est, les synclinaux renferment du Nummulitique (Eocène, Oligocène). Mais sur les bords du Semnoz, la mollasse redressée est discordante sur son substratum, alors qu'elle est en général concordante avec lui dans les plis jurassiens; on peut en conclure que ceux-ci sont les derniers-nés de la chaîne alpine. Nous verrons d'ailleurs plus bas que les plissements les plus anciens et qui ont, par contre-coup, déclenché les autres, sont ceux qui se sont formés dans les zones les plus orientales (internes). Aux lecteurs désireux de se documenter sur le grand problème de l'origine des Alpes, nous ne saurions mieux faire que de conseiller la lecture du beau livre de M. Terrier : *A la gloire de la Terre*.

le Nord-Ouest, à la formation du grand pli couché digité (Crétacé, Nummulitique) de la *Dent du Midi*, qui se prolonge, sur l'autre rive du Rhône, par la Dent de Morcles, la plus inférieure des nappes Helvétiques. Quant aux plis jurassiques situés au Sud-Est du Cléviex, ils se condensent peu à peu en un noyau unique, complexe, la Tour Salière, qui représente le centre de l'enveloppe crétacée des Dents du Midi. M. Lugeon a montré récemment que les prolongations de ces plis vers le Sud-Ouest (Platé, chaîne des Aravis, etc.) concouraient aussi à la formation de cette nappe qui prend ainsi une ampleur insoupçonnée et devient la nappe de Morcles-Aravis, dont la racine s'emplace dans le synclinal de Chamonix¹.

Dans la partie des chaînes subalpines située au Sud de la vallée du lac d'Annecy, c'est encore l'Urgonien qui joue le rôle prédominant, mais il n'y a plus ici d'asphaltes. Le faciès des terrains change; seul, le Semnoz conserve des caractères jurassiens atténués et peut être considéré, de ce fait, comme intermédiaire entre Jura et Alpes. Les plis sont aussi plus élevés et plus ployés que ceux du Jura savoisien; au Nivolet, près Chambéry, il y a des empilements de plis très nets, mais, en poursuivant vers le Nord, on constate que la chaîne se simplifie, car la terminaison septentrionale du Semnoz est un anticlinal simple, renversé vers l'Occident, et qui chevauche, à Vovray, près d'Annecy, la petite voûte urgonienne de Sainte-Catherine. Les plis plus internes présentent le phénomène de l'inversion du relief, notamment dans les Bauges, où les synclinaux perchés sont la règle, témoignant ainsi de reliefs anciens très élevés.

Les vallées sont creusées dans les sédiments tendres du Néocomien (marno-calcaires bleus à Oursins) et les synclinaux urgoniens sont remplis de Gault, de Sénonien, de Nummulitique

¹ L'argument principal pour cette question de racines consiste dans le fait de l'existence d'esquilles de cristallin arrachées à la partie interne des Aiguilles-Rouges et situées, un peu partout, à la base de la série Morcles-Aravis.

(Lutétien, Priabonien, Tongrien)¹; c'est dans le terrain priabonien que se trouvent tous les gisements importants de lignites de la région.

Dans les chaînes du Genevois et du haut Giffre, c'est encore le Crétacé inférieur qui domine; plus à l'Est, à partir du pli du Cléviex, l'élévation des axes provoque la venue au jour de vastes bandes de Jurassique, parmi lesquelles les calcaires du Malm (Jurassique supérieur) et du Dogger (Jurassique moyen) sont à signaler spécialement à cause de leur rôle orographique de premier ordre. Ces calcaires, séparés par les sédiments marneux de l'infra-Crétacé (Hauterivien, Valanginien, Berriasien) et du Callovien-Oxfordien, donnant des paliers gazonnés, se présentent comme de grandes barres visibles de loin et souvent très étendues.

Nous avons déjà dit que la région subalpine était intéressante par ses lignites; ajoutons que c'est la zone d'élection des sources minérales, sulfurées et thermales: eaux bromo-iodurées de Challes, eaux sulfurées thermales d'Aix-les-Bains² et de Menthon, etc.

3° La zone cristalline et sa couverture sédimentaire³.

Cette zone est séparée de la précédente par le long sillon subalpin; les montagnes y sont plus hardies, plus découpées;

¹ Cf. L. Moret, Sur la classification du Nummulitique autochtone des chaînes subalpines de Savoie (*C. R. som. Soc. Géol. Fr.*, 16 février 1925).

² M. Kilian a donné dernièrement une explication nouvelle de l'origine de cette source plus en rapport avec sa thermalité. Pour ce savant, l'eau aurait été minéralisée en profondeur par le Trias et sa venue au jour aurait été provoquée par une surface de chevauchement située à la base du Revard et en relation avec la surface topographique par des cassures de l'Urgonien (v. plus bas, p. 185).

³ Remarquons, en passant, que la zone de couverture sédimentaire des massifs hercyniens, telle qu'elle se présente sur le schéma structural de la planche I, est toute théorique. Cette zone, que par définition nous limitons à l'Est et l'Ouest par le cristallin et le bord subalpin, n'est, en effet, que la continuation des plis subalpins dont elle constitue les noyaux anticlinaux très dé-

là se trouvent les plus hauts sommets de l'Europe. Essentiellement formés de granite et de schistes cristallins percant une couverture de sédimentaire (Stéphanien, Trias, Lias), ces massifs d'ancienne consolidation s'ordonnent suivant deux séries parallèles qui sont, de l'Ouest à l'Est :

a) La chaîne des *Aiguilles-Rouges* et du *Brévent*, qui se prolonge au Sud par le *Prarion*, les affleurements de Mègeve, Beaufort et le massif de *Belledonne*. On y trouve des bandes dures d'amphibolites avec épanchements granulitiques à Epierre (Maurienne), et, au Brévent, des amphibolites et des élogites. Ces massifs contiennent des coins synclinaux de Houiller, de Trias, ou même de Jurassique, qui permettent de suivre les plis.

Cette première série, la plus ancienne, est séparée de la seconde ou série du *Mont-Blanc* par le synclinal complexe et étiré connu sous le nom de *Synclinal de Chamonix*, qui passe en outre à Martigny, au col de Balme et se prolonge au Sud par le col de Voza, Naves, le col de la Madeleine, la vallée des Villards, le col du Glandon, Allemont et Ornon.

Outre le Lias, on a pu relever l'existence, dans ce synclinal, de Trias, de Dogger et même, d'après MM. Lugeon et Oulianoff, de Crétacé et de Nummulitique¹.

b) Le massif du *Mont-Blanc* est essentiellement formé d'un granite fréquemment appelé protogine, souvent laminé, et donnant alors des variétés gneissiques, percé de filons de granulite et enveloppé de roches cristallophylliennes (micaschistes surtout), également injectées. Sa structure classique en éventail

versés vers l'Ouest sur une faible épaisseur d'autochtone (Trias, Jurassique), soudé au cristallin. Mais elle est commode pour les descriptions et a l'avantage de séparer une région de Permo-Houiller, Trias, Lias, d'une autre région où le Jurassique et surtout le Crétacé et le Nummulitique prennent un énorme développement.

¹ Ed. Paréjas a consacré dernièrement au synclinal de Chamonix une monographie très complète (*Mém. Soc. Phys., Hist. Nat., Genève, 1922*).

n'est que localisée à la portion comprise entre Chamonix et Courmayeur; ailleurs, il présente une allure isoclinale déjetée vers l'extérieur de la chaîne (Duparc et Mrazec). Ce massif disparaît au Sud sous une zone de sédimentaire résultant de la fusion des synclinaux de Chamonix et de Courmayeur. Il réapparaît enfin, mais très atténué, dans l'écaille de Moûtiers (Haute-cour), dans le petit massif du Rocheray, en Maurienne, pour prendre de nouveau de l'ampleur aux Grandes-Rousses, entre Savoie et Dauphiné, et enfin au Pelvoux.

L'ensemble de ces deux séries forme ce que l'on appelle encore la « zone des massifs hercyniens »; on en ignore l'âge, mais, ce que l'on sait, c'est que le Stéphanien est discordant et transgressif sur le vieux socle cristallin arasé; le Trias est transgressif sur cet ensemble plissé; de plus, les plis hercyniens (antétriasiques) ne coïncident pas toujours avec les plis récents ou alpins.

Toute la région cristalline est injectée de filons métallifères d'âge tertiaire à remplissage complexe (filons sulfurés plombo-zincifères), mais il n'existe pas d'amas très importants. La chalcopryrite et la pyrite dominent, ainsi que les blendes, notamment à Beaufort, Saint-Georges-des-Hurtières, Presles, Allevard. Il faut remarquer que la minéralisation des schistes X de la carte géologique à 1/80.000^e est allée jusqu'au Trias. La zone de contact est alors fort riche, c'est le fait de quelques mines de la région et notamment de celle de Saint-Avre qui renferme des blendes fluorées.

La houille stéphanienne se trouve à Petit-Cœur, au col de Balme, aux Houches, dans des schistes à plantes d'âge stéphanien présentant la double discordance, sur les schistes cristallins et sous le Trias. Les schistes houillers fournissent d'excellentes ardoises (Cevins).

Le Trias, outre ses dolomies, dans lesquelles se sont surtout concentrés les minerais, renferme aussi des bancs de gypse fort exploités.

Quant au Lias, sa base est calcaire et l'on en retire des ardoi-

ses de qualité inférieure à celles du Houiller¹. Les eaux minérales sont également abondantes dans cette zone; les plus connues sont celles de Brides, de Moûtiers, de Saint-Gervais (eaux salines) et surtout celles de l'Echaillon, dont les sédiments sont remarquablement radio-actifs.

4° La zone du Briançonnais (Maurienne et Tarentaise).

Cette zone est fort complexe et comprend en Savoie, de l'Ouest à l'Est, d'abord une large bande de terrains tertiaires ou « zone du Flysch », ou encore « sous-zone des Aiguilles d'Arves ». C'est un vaste faisceau synclinal très plissé, formé de schistes, de grès, de conglomérats polygéniques d'âge tertiaire (on y a trouvé de rares Nummulites), qui s'étend du col de la Seigne jusqu'au delà de Vallouise et du Queyras; les étirements, les surfaces de contacts tectoniques sont fréquents. Les schistes du Flysch sont activement exploités en Maurienne comme ardoises, ces produits sont d'ailleurs de qualité médiocre.

La zone du Flysch confine à l'Est aux montagnes de Lias des *Encombres*, de la *Grande-Moënda*, du *Galibier*, où les brèches liasiques sont fréquentes (« brèche du fort du Télégraphe » en Maurienne, W. Kilian) et s'opposent ainsi, comme faciès, au Lias des zones précédentes (ou de type dauphinois), lequel est de nature vaseuse et forme une monotone et épaisse série, calcaire à la base, schisteuse au sommet.

Enfin, plus à l'Est encore, commence la « sous-zone houillère », dont la largeur maxima se place entre Saint-Michel et Modane. C'est une monotone et très épaisse succession de schistes, grès, conglomérats, renfermant des chapelets d'antracite pulvérulent, très plissée, mais concordante avec le substratum et la couverture. On a cru pendant très longtemps que tout ce Carbonifère était stéphanien; des trouvailles récentes

¹ Ardoises calcaires blanchissant avec l'âge, ce qui n'est pas le cas pour celles du Houiller.

de plantes fossiles ont montré qu'une partie au moins était westphalienne.

Cette bande houillère renferme les gisements bien connus de Maurienne et de Tarentaise; elle constitue l'épanouissement des affleurements houillers du Briançonnais. Comme élément tectonique de cette zone, citons l'anticlinal houiller et le synclinal du *Thabor*.

Le Trias de ces zones est intéressant par ses quartzites, ses gypses, ses calcaires gris, compacts, tous plus ou moins exploités ou exploitables. Les quartzites renferment les galènes argentifères de Peisey et de Macot, autrefois exploitées de façon intensive.

Tous les terrains qui entrent dans la constitution des zones précédentes sont très plissés, mais encore très reconnaissables; ils ne sont pas métamorphisés, ainsi que cela va commencer à apparaître dans la sous-zone suivante, ou « sous-zone de la Vanoise » (= faisceau *Vanoise-Rois-Mages-Chaberton*). Là, le Trias prend un très grand développement¹; il est d'ailleurs parfois difficile à séparer du Lias; ce Trias contient toujours des quartzites, des calcaires dolomitiques, mais plus de gypses; quant au Permo-Carbonifère, il est franchement métamorphique et gneissique, donc sans grand intérêt industriel.

Remarquons que, du point de vue purement géologique, ces régions alpines internes de Savoie sont caractérisées par les importants complexes caillouteux et gréseux du Houiller, du Lias et du Nummulitique².

5° La zone des schistes lustrés.

Enfin, à l'Est de Modane, dans la Haute-Maurienne, s'étend une région de montagnes aux formes monotones et où les calc-

¹ D'après la carte géologique à 1/80.000^e, mais il est probable qu'une grande partie de ce Trias devra être incorporée au Lias.

² Plus au Sud, dans les environs de Briançon et de Guillestre, viennent s'ajouter des brèches d'âge Jurassique supérieur et même Crétacé supérieur, ces dernières formant la base de la formation désignée sous l'appellation de « marbres en plaquettes ».

région a montré aux géologues qu'il fallait y distinguer trois nappes, elles-mêmes plus ou moins complexes, empilées et complètement séparées de leurs racines qui sont à rechercher à l'Est, au delà de la zone cristalline.

Ces trois nappes sont, de bas en haut :

a) Les *Préalpes inférieures*, ou *bordières*, qui forment l'arc le plus extérieur des Préalpes¹. Elles sont caractérisées en Savoie par le grand développement qu'y prennent les dépôts du Flysch; ceux-ci, cachés au Nord sous des moraines, sont bien visibles aux *Voiron*s. On y rattache les *collines du Faucigny*, formées de Jurassique supérieur fossilifère (Ammonites). Cette nappe est représentée à la base de Sulens.

b) Les *Préalpes médianes*, ou zone jurassique; le Malm (Jurassique supérieur), le Dogger (Jurassique moyen) et le Lias (Jurassique inférieur) y occupent de vastes surfaces; la partie interne est formée par une longue dépression de Flysch qui s'étend longitudinalement de Mieussy à Abondance. Le faciès du Dogger y est remarquable en ce sens qu'il est totalement différent de celui des zones autochtones, lequel est formé de calcaires et de schistes noirs à Bélemnites; par contre, il offre de grandes affinités avec celui de la zone du Briançonnais; c'est ce que l'on a appelé le Dogger à *Mytilus* et à *Rhynchonella Hopkinsi*; c'est un faciès néritique.

Les principaux sommets sont la *Pointe d'Orchex*, le *Mont-Chauffé*, les *Cornettes de Bise*, la *Dent d'Oche*, le massif des *Brasses* et enfin le *Môle*. Rappelons que la montagne des *Annes* et celle de *Sulens* (masse triasico-liasique) sont des témoins de l'ancienne extension, vers le Sud, de la nappe des Préalpes médianes.

¹ Ce sont les nappes ultra-helvétiques de M. Arnold Heim dont l'origine est à rechercher sous les nappes penniques du Valais. Celles-ci comprennent, d'après M. Argand, trois nappes superposées qui sont, de bas en haut, la nappe du Grand-Saint-Bernard, la nappe du Mont-Rose, la nappe de la Dent Blanche. La nappe du Grand-Saint-Bernard s'épanouit en France et constitue notre zone du Briançonnais (pl. I et II).

Cette zone chevauche au Nord sur la précédente; elle semble, à son tour, chevauchée par la nappe suivante :

c) La *nappe de la Brèche*, qui surmonte l'ensemble et qui doit son nom au faciès littoral qu'y prennent le Dogger (brèche inférieure) et le Malm (brèche supérieure); ces formations très résistantes jouent dans l'orographie de la région un rôle important; le Dogger forme une première série de sommets : *Haut-Fleury*, *Haut-Fort*, *Marcelly*, etc.; la série externe est constituée par des crêtes de Malm, tandis que la partie intermédiaire est creusée dans les schistes ardoisiers tendres de l'Oxfordien.

Ce massif de la Brèche supporte des lambeaux de Flysch surtout développés aux Gets et remarquables par les pointements de roches cristallines qu'ils renferment et dont l'interprétation n'est pas encore satisfaisante. La nappe de la Brèche confine aux hautes chaînes calcaires de la zone subalpine par l'intermédiaire du Flysch du val d'Illiez (Flysch autochtone + Flysch du Niesen), d'ailleurs très réduit en Savoie¹.

Du point de vue des ressources minérales, la région des Préalpes n'est pas très intéressante. On peut cependant citer, dans la zone des Préalpes médianes, le gypse triasique d'Armoy, le charbon de la Dent d'Oche, d'âge jurassique supérieur, et, dans la nappe de la Brèche, l'anthracite pulvérulent de Tanninges (d'âge westphalien supérieur, comme les anthracites briançonnais), les ardoises de Morzine (Jurassique supérieur), ainsi que les quartzites triasiques qui affleurent près de la même localité. Les massifs des Annes et de Sulens offrent de petits

¹ Et par la zone dite de « Flysch du Niesen », très développée en Suisse et dont on a même fait une nappe spéciale issue des régions penniques frontales, c'est-à-dire d'une zone à peu près analogue à notre zone du Flysch ou des Aiguilles d'Arves. En Savoie, un lambeau de cette nappe est constitué par la brèche de Châtillon, posée sur le Flysch autochtone, et dans laquelle on trouve de grandes Nummulites lutétiennes et des Orthophragmines. Cette nappe du Niesen est également représentée dans le soubassement des Annes et de Sulens, par des conglomérats à grandes Nummulites.



affleurements de gypse sur lesquels on a fait autrefois des tentatives d'exploitation¹.

B. — L'ARCHITECTURE DU SOL DE LA SAVOIE.

Voyons maintenant quels sont les rapports réciproques des différentes zones que nous venons de définir brièvement, quelle est l'architecture, la tectonique de la région.

Il est devenu banal de dire que les chaînes de montagnes correspondent à des zones de plissements de l'écorce terrestre et que les Alpes sont précisément une de ces zones les plus intensément plissées.

Sans discuter sur l'origine des forces qui sont intervenues, il est facile de se rendre compte que les mouvements tangentiels résultants se sont propagés, dans nos Alpes, de l'Est vers l'Ouest. La surrection de la chaîne s'est d'ailleurs opérée en plusieurs temps, mais le principal effort est surtout d'âge tertiaire (post-Pontien); l'érosion a immédiatement commencé son œuvre sur la surface topographique produite par ces derniers plissements, en disséquant les plis, de sorte que, sur une carte géologique, les différents terrains s'ordonnent en bandes parallèles à la courbure des Alpes. Ces bandes ont été groupées en zones et ce sont précisément ces zones que nous venons d'étudier; elles se distinguent les unes des autres par les terrains qu'on y trouve, les faciès de ces terrains et leur arrangement; les zones internes, ou situées en dedans des massifs cristallins, sont séparées par des surfaces tectoniques qui accentuent leur individualisation.

Les plissements les plus anciens dont nous ayons une manifestation tangible dans les Alpes se sont produits avant le dépôt du Carbonifère supérieur (Stéphanien), qui repose en discordance sur les schistes cristallins; puis de nouveaux plissements

¹ En certains points, les restes d'une nouvelle nappe se superposent aux précédentes : c'est la nappe rhétique (cf. pl. II).

ont inclu le Carbonifère (synclinaux) dans le Cristallin : c'est ce qu'on appelle les plissements hercyniens. Ces mouvements ont donné lieu à la formation d'une grande chaîne de montagnes, actuellement arasée, et dont la Bretagne, le Massif Central, les Vosges, l'Ardenne sont les témoins principaux; dans les Alpes, ces plis se retrouvent dans l'arc granitique constitué en Savoie par le massif des Aiguilles-Rouges-Mont-Blanc, mais qui se complète au Nord-Est par le massif de l'Aar et au Sud par Belledonne, le Pelvoux et le Mercantour.

Dans la suite des temps, ces vieux axes, arasés, ont dû être recouverts plusieurs fois par les eaux des mers jurassiques crétacées, tertiaires. La formation des grands plis couchés des zones alpines internes, esquissés depuis longtemps déjà (nappes penniques, Préalpes), se manifeste pleinement à l'Oligocène, mais ce n'est que vers la fin des temps tertiaires qu'un nouvel et violent effort orogénique¹ détermine l'aspect définitif de la chaîne. Tous les terrains, du Carbonifère à l'Oligocène, ont été fortement plissés ou replissés sous l'effort des nappes penniques, pressées par l'arrière-pays (Argand), en arcs concentriques épousant la forme de l'hémicycle cristallin. Sous la pression continue, cet hémicycle, qui avait résisté pendant un certain temps, a été lui-même repris dans les jeunes plissements (lames granitiques du Lias de l'Echaillon et du synclinal de Chamonix, coïns calcaires des schistes cristallins de la Jungfrau), tandis que les sédiments des zones voisines ou plus internes, plus plastiques et toujours violemment comprimés, ont fini par se déverser en partie par-dessus l'arc granitique et sur l'avant-pays, avec lequel ils ont été plissés pendant la dernière phase orogénique. Il est probable que le massif du Mont-Blanc est venu au jour en perçant sa couverture de sédimentaire.

Par conséquent, en reprenant la série des zones que nous avons étudiées plus haut d'un autre point de vue, nous cons-

¹ C'est cette ultime phase qui a provoqué le refoulement des plis les plus externes sur la molasse.

taterons qu'à partir des plis simples, en voûte légèrement déversée à l'Ouest, de la région jurassienne et de sa bordure mollas-sique¹, commencent des régions (zone subalpine) à plissements plus intenses, toujours autochtones, où les plis-failles, les chevauchements, sont fréquents (Bauges, Genevois) et même les empilements de plis (Nivolet). Au Nord-Est, la partie interne de cette zone se déverse nettement et prend une allure en grands plis couchés, à la Dent Blanche et à la Dent du Midi. Nous savons déjà que ces montagnes résultent de la fusion des plis du faisceau qui fait suite vers l'Est à l'axe Semnoz-Nivolet.

En se rapprochant des massifs cristallins, ce déversement est encore plus accusé dans le Jurassique : c'est la zone du Mont-Joly, bien visible sur les flancs de cette montagne où se voient de multiples replis de Lias², dans le substratum du massif de Platé, sur la rive droite de l'Arve (plis d'Arpennaz), et aux Faucilles du Chantet (vallée du Giffre). La couverture crétacée et tertiaire de ces boucles jurassiennes est constituée, dans la chaîne des Aravis, par les charnières anticlinales de la Pointe-Percée et de la Pointe d'Areu, que l'érosion a sculptées en pyramides et qui sont actuellement rattachées, ainsi que leur substratum jurassique, à la nappe de Morcles; elle se continue dans le massif de Platé par les plis-failles de la Colonaz et de Balme et la Pointe des Places; au delà, enfin, elle a été entièrement érodée et il faut rechercher les raccords dans le Jurassique, que l'on connaît fort mal de ce point de vue, mais qui n'en constitue pas moins les noyaux des enveloppes crétacées et nummulitiques de la nappe Dent du Midi-Dent de Morcles. Un témoin de sédimentaire perché sur le faite des Aiguilles-Rouges, au Belvédère, montre une partie replissée de la couver-

¹ Cette simplicité d'allure n'est probablement qu'apparente; les récentes recherches sur l'ensemble du Jura montrent que, là encore, les phénomènes de charriage sont la règle.

² Les racines des plis couchés du Mont-Joly ne sont pas à rechercher très loin; on les voit des plus nettement, sous forme de bandes de terrains très redressés (Lias, Trias), aux abords du lac de la Girotte.

ture autochtone de la zone cristalline sur laquelle se sont déroulées les nappes

Mais revenons au rôle joué par les massifs cristallins; pendant le plissement, ces socles hercyniens, véritable buttoir, ont fait obstacle à la propagation des plis couchés issus du synclinal de Chamonix ou des zones situées immédiatement en arrière du Mont-Blanc. Ces plis ont finalement dépassé la ligne cristalline et ont en quelque sorte bavé sur l'avant-pays, où ils sont devenus de véritables nappes de charriage. Les plis issus de l'Autochtone qui confinait au Cristallin et de la zone de Chamonix ont donné ce que l'on appelle les « nappes helvétiques » inférieures; ceux déjà formés dans une zone plus interne (zone du Briançonnais ou zone plus interne encore ?) et qui nous paraissent aujourd'hui déversés par-dessus les précédents constituent la plus élevée des nappes helvétiques et les « Préalpes », ces dernières représentées en Savoie par les montagnes du Chablais, le Môle et les collines du Faucigny et par les lambeaux exotiques des Annes et de Sulens. Notons d'ailleurs qu'il semble actuellement bien prouvé que la mise en marche de toutes ces grandes nappes à origine interne date de loin et que le paroxysme aurait eu lieu à l'Oligocène moyen (Argand); elles seraient par conséquent antérieures, comme âge, aux plis des zones subalpines autochtones et subautochtones auxquels ils ont donné naissance¹.

Ces montagnes du Chablais sont constituées de terrains dont les faciès sont notablement différents de ceux de nos chaînes autochtones; des terrains de faciès analogues se retrouvent dans la zone du Briançonnais et c'est là la raison pour laquelle beaucoup de géologues pensent que cette zone contient les racines des Préalpes².

¹ Les nappes penniques (dont la plus inférieure, dite du Grand-Saint-Bernard, se prolonge en France par la zone du Briançonnais) en mouvement auraient ainsi successivement déclanché les nappes préalpines, puis les nappes helvétiques.

² Par contre, pour les géologues suisses, ces racines seraient à rechercher

L'action des refoulements sur les zones situées en dedans de l'arc cristallin est bien visible dans la vallée de l'Arc; c'est donc là que nous allons en suivre les effets. Notons tout d'abord que le prolongement du Mont-Blanc est représenté par le petit massif du Rocheray et par les affleurements cristallins de l'Echailon, où des lames de granite sont intimement mêlées au Trias et au Lias. La zone du Flysch est très développée; elle est formée de plis très serrés et déjetés vers l'Ouest, lesquels, à partir de Saint-Martin, sont chevauchés par les beaux plis couchés du Lias des Encombres. Cette zone, à son tour, est recouverte par les multiples replis de la zone houillère, très développée en Maurienne et en Tarentaise, et qui, plus au Nord, vient s'écraser derrière le Mont-Blanc, dont elle est séparée par le synclinal de Courmayeur (val Ferret), et rétrécir ainsi la bande de Flysch.

Le bord oriental de cette aire anticlinale houillère, dont les gîtes charbonneux ont été littéralement pulvérisés par les plissements, est recouvert par du Trias à faciès briançonnais, donc faisant encore partie de la zone du Briançonnais¹.

Mais, à partir de Modane, de grandes complications tectoniques interviennent; la bordure triasique est chevauchée par une nappe permo-carbonifère très métamorphique, à l'état de gneiss; cette nappe, qui provient de l'exagération d'un vaste pli couché, séparé de sa racine, est percée, par l'érosion, de fenêtres laissant réapparaître le substratum triasique (fenêtre de Chavière de J. Boussac); elle constitue le massif de Polset-Pécelet.

Cette zone des gneiss permo-carbonifères supporte des lam-

sur la bordure orientale du géosynclinal alpin, dans la zone du Canavese (cf. pl. II) (cf. les beaux travaux d'Argand).

¹ La zone du Briançonnais est actuellement considérée comme un immense pli couché en relation avec la nappe du Grand-Saint-Bernard de E. Argand (nappe pennique inférieure); le Mont-Pourri en serait une digitation supérieure, ou peut-être l'équivalent de la nappe du Mont-Rose (nappe du Mont-Pourri de J. Boussac).

beaux de Trias et probablement aussi de Lias, dont le faciès paraît bien être différent (plus métamorphique) de celui du substratum briançonnais (massif de la Vanoise, Grande-Casse, Grande-Motte, Dôme de Chasseforêt) et qui supportent eux-mêmes, plus au Nord, le lambeau gneissique du Mont-Pourri; elle semble enfin chevauchée par la zone des schistes lustrés qui, d'après MM. Termier et Kilian, serait une immense nappe (équivalent de la nappe du Mont-Rose) venue de régions plus orientales, opinion qui n'est d'ailleurs pas encore généralement admise¹.

Pendant ces plissements tertiaires, les venues minérales ont été abondantes et facilitées par les fissures et cassures produites.

Cette histoire géologique en raccourci montre combien est compliquée la structure de nos Alpes de Savoie qui prennent part à tous les problèmes des grandes Alpes; elle explique également, outre la diversité des terrains et des matières minérales, la variété des modes de gisements.

¹ L'étude si complexe du massif de la Vanoise vient d'être reprise récemment par M. M. Gignoux (cf. *Bull. Carte Géol. France*, n° 155, t. XXVIII, 1923-1924).

DEUXIÈME PARTIE

RESSOURCES MINÉRALES DE LA SAVOIE

CHAPITRE I

Asphaltes, mollasses pétrolifères, pétrole.

A. — LES ROCHES BITUMINEUSES DE SAVOIE

(Calcaire urgonien asphaltique, mollasse pétrolifère).

Les asphaltes constituent certainement une des ressources minérales les plus intéressantes de la Savoie et c'est pourquoi nous commencerons par leur étude.

En gros, les hydrocarbures y sont nettement localisés dans la zone jurassienne, ainsi que dans la région mollassique qui la borde vers l'Est et sur l'alignement de la grande traînée bitumineuse qui s'étend de Grenoble jusqu'au delà du Val de Travers (cf. fig. 1 et pl. V).

Nous avons défini plus haut ces régions, et le lecteur voudra bien s'y reporter.

Auparavant, il me paraît utile, étant donné le but poursuivi, de fournir quelques explications sommaires sur la nature de ces corps bitumineux, sur les roches qui les contiennent, les moyens de les reconnaître et de les rechercher.

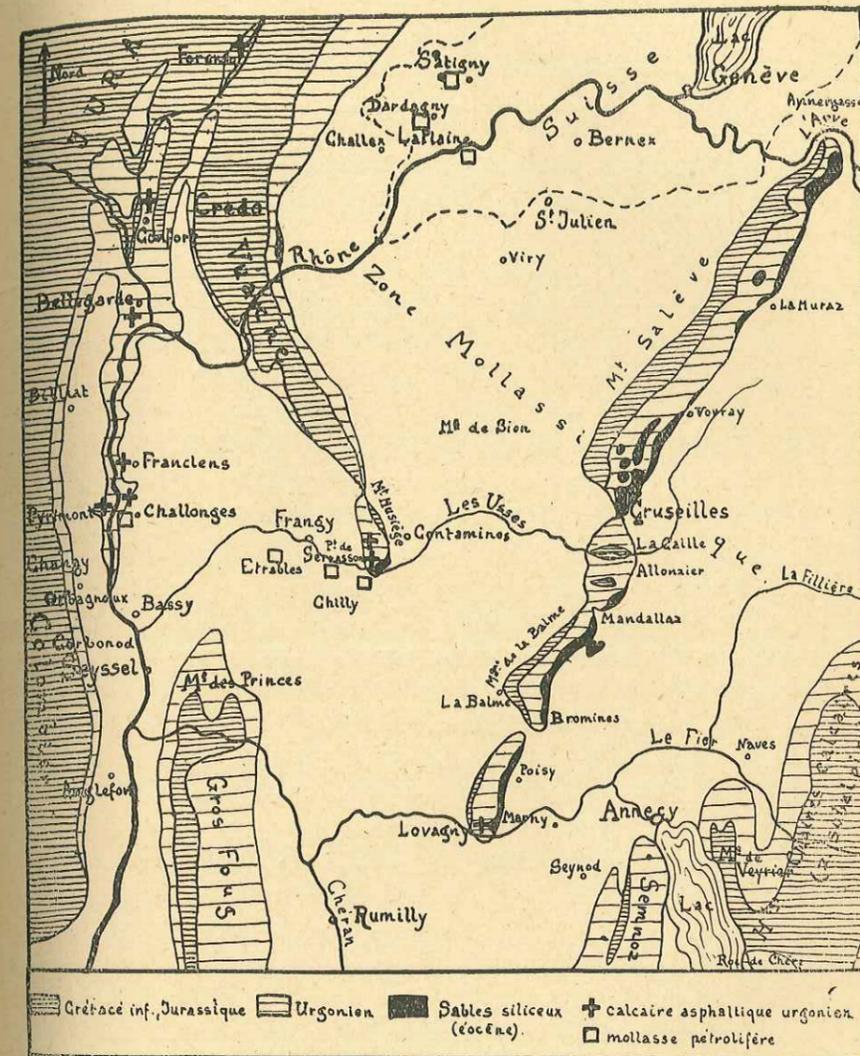


Fig. 1. Carte indiquant la répartition du calcaire asphaltique (remarquer sa localisation exclusive dans l'Urganien des plis les plus orientaux de la zone jurassienne) et de la mollasse pétrolifère en Savoie et dans les régions voisines.

1. Généralités sommaires.

Faisons abstraction du problème complexe de l'origine des hydrocarbures qui imprègnent les roches et partons de la définition du pétrole, le plus fluide de tous, et d'ailleurs, semble-t-il, le premier formé.

Les pétroles (car ils sont nombreux et variés suivant les gisements) sont des mélanges d'hydrocarbures solides, liquides et gazeux; par oxydation, ils donnent successivement les bitumes, puis les asphaltes. Dans la classification d'Engler, le groupe des asphaltes, qui nous intéresse particulièrement, comprend des oxybitumes généralement mélangés à des pétroles ou à d'autres bitumes, associés à de l'eau et à des impuretés organiques et minérales. Lorsque ces corps imprègnent le calcaire, ils donnent le « calcaire asphaltique », souvent et à tort désigné sous le nom d'asphalte.

C'est donc très certainement le pétrole qui, grâce à sa fluidité originelle, a imprégné en masse certaines roches prédestinées et où il s'est peu à peu oxydé et transformé en un corps plus visqueux et par là même moins mobile. Par conséquent, un premier point à retenir, c'est que la présence de l'asphalte ou du bitume dans les affleurements ne signifie pas toujours qu'il doit exister du pétrole en profondeur.

Du point de vue des roches qui contiennent le pétrole libre ou ses produits, on a depuis longtemps distingué :

a) Des roches dont on ne peut extraire l'hydrocarbure que par distillation. Ex. : schistes bitumineux d'Autun;

b) Des roches contenant le pétrole ou ses produits d'oxydation à l'état libre, et c'est le cas de nos roches savoisiennes. Ex. : calcaire asphaltique de Pyrimont, mollasse bitumineuse de Frangy.

Ce dernier groupe comprend donc les roches-support, terme

qui a l'avantage de ne point préjuger de leur nature plus précise de roches-mères ou de roches-magasins.

Etant poreuses, elles contiennent l'hydrocarbure dans les interstices de leurs grains (fins morceaux de calcaire ou d'organismes, ou grains de quartz suivant que l'on a affaire à un calcaire asphaltique ou à un grès bitumineux), mais le plus souvent, dans le cas des sables bitumineux, le bitume ne forme qu'une mince pellicule autour de chaque petit élément de quartz.

On peut distinguer, en ce qui concerne les sables et grès pétrolifères, deux variétés dites « sables vifs » (live oilsand des Américains) et « sables morts » (dead oilsand), suivant que le corps hydrocarboné contenu y est à l'état fluide ou à l'état de bitume. Traités par l'eau, les premiers cèdent de l'huile qui produit de belles irisations¹; ils conservent en gisement leur teinte naturelle verdâtre, sauf dans les parties oxydées.

Quant aux sables morts, à produits hydrocarbonés oxydés, ils sont de teinte foncée, brun chocolat, et ne donnent presque pas d'irisations; il faut les traiter par un solvant, alcool, ou mieux chloroforme, qui prend alors une coloration brune caractéristique (réaction dite du chloroforme, permettant de distinguer une roche à hydrocarbures libres d'une roche brune stérile ou d'un schiste bitumineux). Les parties volatiles (benzine) se sont évaporées, et il ne reste par contre que des bitumes. A l'air sec, ils ont une coloration violacée et deviennent foncés en profondeur.

Il est évident qu'entre ces deux extrêmes, on peut observer tous les stades intermédiaires.

Quant aux calcaires asphaltiques, définis plus haut, du point de vue chimique, ils sont généralement plus compacts, quoique ce soient surtout les parties crayeuses qui aient subi l'imprégnation; l'asphalte, en effet, donne de la ténacité au calcaire.

¹ Un bon moyen de diagnostiquer ces irisations pétrolifères sur une eau quelconque consiste à promener à la surface un agitateur : si la pellicule se rompt en menus fragments, c'est que l'on a affaire à des matières organiques sans intérêt.

Ils sont également de teinte sombre, brunâtre ou noirâtre à la cassure, mais blancs en surface par altération (donc, dans les prospections, ne pas oublier de faire le diagnostic au marteau). Les meilleurs calcaires asphaltiques sont élastiques, durs en hiver, tendres l'été et s'écrasent sous le doigt vers 50 à 60°. L'exposition pendant quelques heures au soleil les fait tomber en une poussière brune.

Un bon calcaire doit surtout être très régulièrement imprégné; l'imprégnation sera mauvaise s'il contient du quartz ou de l'argile; il faut donc du calcaire crayeux pur. A Lovagny, à Pyrimont, on trouve dans l'Urgonien de tels produits d'excellente qualité. Ils doivent, pour être exploités avec fruit, contenir une moyenne de 6 à 8 % de bitume, mais ce n'est pas une règle stricte, car on exploite, de nos jours, des calcaires asphaltiques notablement plus pauvres.

D'après M. Blacke, directeur des mines de Lovagny, certains calcaires crayeux de cette localité, mal imprégnés, et abandonnés à l'air libre pendant très longtemps, deviennent excellents, l'imprégnation se régularise, ce qui est une preuve de ce qu'on appelle la « migration des hydrocarbures ».

Ceci nous conduit à une notion nouvelle : *l'imprégnation bitumineuse superficielle peut être parfois en rapport avec des hydrocarbures plus profonds*. Par conséquent, l'exploration des indices de surface peut conduire à des découvertes intéressantes; mais il est indispensable de déterminer auparavant la nature de la roche-support de l'hydrocarbure examinée, pour orienter les recherches.

Ainsi, à Pyrimont, à Lovagny, au-dessus des calcaires asphaltiques, existent des sables éocènes souvent secondairement imprégnés par l'asphalte. Autrefois on disait: « sables bitumineux, pas d'asphalte », ce qui signifiait que l'asphalte devait avoir complètement quitté les zones profondes. Actuellement, on aurait une tendance à dire le contraire. A mon sens, c'est là une règle qui paraît, en effet, judicieuse, car j'ai très souvent constaté l'association d'asphaltes et de sables bitumineux superposés.

Une autre preuve de cette mobilité du bitume lui-même consiste en ce fait, fréquent, des poches de bitume pur qui se rencontrent dans l'Urgonien. A Lovagny, on constate nettement que l'imprégnation est localisée dans les bancs tendres et que le bitume est arrêté au niveau des bancs durs, compacts, intercalés; lorsque l'on voit le bitume ruisseler, revenir sur ses pas pour ainsi dire, c'est là un indice très fidèle de « stérile » et il est inutile de pousser l'exploitation.

Ajoutons que, vu la faible densité du pétrole, les mouvements de ce corps et de ceux de l'eau dans l'écorce ne seront pas les mêmes; à certains égards, ils seront même inverses; ainsi, dans une région régulièrement plissée, le pétrole occupera de préférence les axes anticlinaux, tandis que l'eau garnira les synclinaux. Enfin, il est utile de savoir que les roches-mères d'hydrocarbures sont toujours des complexes saumâtres (J. Chautard) et que, de plus, des gaz et des eaux salées bromo-iodurées sont fréquemment associés aux pétroles (Mrazec).

2. Terrains pétrolifères de Savoie.

Les principaux terrains qui renferment des hydrocarbures dans notre région sont, par ordre d'importance : l'Urgonien dans le Crétacé, les sables continentaux éocènes, la molasse (Oligocène, Miocène).

a) URGONIEN. — Ce terrain constitue le faciès zoogène du Barrémien et de l'Aptien. Il se présente donc comme un calcaire blanc très pur, crayeux ou compact, exceptionnellement dolomitique. Il forme généralement, au-dessus de l'Hauterivien, plus tendre, une haute falaise. C'est, du point de vue morphologique, le terrain le plus important de la région. Il affleure largement dans tous les plis jurassiens et spécialement le long du Rhône, sur les deux flancs du Crédo, sur le flanc occidental du Vuache, au Musiège, au Colombier et au Gros-Foug; enfin, on le retrouve dans la zone du Salève. Il forme en général la

carapace des plis, c'est dire qu'il sera fréquemment en anticlinal.

Il est constitué comme suit, d'après H. Schardt et Douxami, de haut en bas :

1° Calcaire roux à *Pterocera pelagi* et marnes gréseuses à *Orbitolina lenticularis* (Rhodanien);

2° Calcaire blanc, dur, à *Requiena ammonia*, avec bancs crayeux;

3° Calcaire jaunâtre plus ou moins marneux à Brachiopodes (*Rhynchonella lata*) et *Heteraster couloni*.

Les niveaux 2 et 3 constituent l'Urgonien proprement dit et correspondent à la masse urgonienne inférieure des environs d'Annecy (Semnoz). C'est lui qui est généralement asphaltique, mais il est toujours très imprégné et notamment dans les parties supérieures (n° 2).

Du point de vue lithologique, l'Urgonien se présente comme un faciès récifal riche en débris de Pachyodontes¹, en Orbitolines, en Miliolidés; les algues calcaires (Diplopores) s'y rencontrent parfois. Voici quelques diagnoses d'échantillons recueillis dans la région des asphaltes :

1° *Urgonien compact, fissuré, injecté de bitume de la route de Musiège* : plages de calcaire granuleux, débris de tests entièrement transformés en calcite granuleuse, organismes rares et très désorganisés, quelques Foraminifères et débris de Mollusques très flous, ciment de calcite largement cristallisé.

2° *Urgonien compact de Challavrey* : organismes transformés en calcaire granuleux et tests recristallisés avec traces d'attaque par algues perforantes. Ciment de calcite recristallisée en larges plages. Rares Orbitolines à test granuleux.

3° *Calcaire crayeux asphaltique de Challavrey* : imprégnation bitumineuse irrégulière. Organismes divers abondants : For-

¹ Ou Rudistes. Ce sont des Mollusques bivalves très spéciaux, éteints, et qui vivaient en colonies; leurs coquilles abondent dans l'Urgonien.

minifères (Textilaires, Miliolés, Rotalidés, Orbitolines), tests de Mollusques, Bryozoaires, algues calcaires, non encore entièrement transformés en calcaire granuleux, et cimentés par de la calcite grenue. L'asphalte est surtout concentré sur les tests d'organismes, mais on en voit aussi dans les fissures de la calcite du ciment.

4° *Calcaire régulièrement imprégné, mais à teneur faible, de Lovagny* : peu de Foraminifères, débris d'entrouques, de tests de Mollusques, petits morceaux de calcaire. Ciment lâche de calcite granuleuse et grenue.

5° *Calcaire riche en asphalte du Pont-des-Doualles* : Foraminifères très abondants, se touchant en certains points de la préparation (Miliolidés, Textilaridés, Rotalidés); leur coque est brune, granuleuse et toujours imprégnée d'asphalte. Petits morceaux de tests de Mollusques de la grosseur d'un Foraminifère. Tous ces éléments, bien calibrés, sont réunis par de la calcite finement grenue. Rares sections d'algues (Diplopores).

b) EOCÈNE. — Ces dépôts, improprement appelés sidérolithiques, et dont nous reparlerons plus bas en détail (ch. IV, 1), sont constitués par des sables siliceux fréquemment imprégnés de bitume lorsqu'ils sont subordonnés aux calcaires asphaltiques. On en trouve ainsi à Challonges, à Pyrimont, à Lovagny, au Salève¹.

c) MOLLASSE. — Mollasse est un terme de carrier s'appliquant à une roche calcaréo-gréseuse et tendre; une mollasse peut donc être d'âge variable, et, de fait, on en trouve en Savoie dès le sommet de l'Oligocène (Chattien) et pendant tout le Miocène. Elle est fréquemment bitumineuse et les suintements de Dardagny, du Pont-de-Serrasson sont connus depuis longtemps.

La stratigraphie en est assez complexe et nous nous contenterons de citer et d'interpréter la coupe de Pyrimont qui est

¹ A Challonges, ils sont subordonnés au conglomérat et aux marnes micacées à Vertébrés oligocènes.

classique depuis les travaux de Douxami et la découverte de Vertébrés fossiles que l'on y fit au cours de l'exploitation des mines.

Au-dessus de l'Urgonien, plus ou moins raviné, ou de l'Eocène, on a :

1° Conglomérat à cailloux urgoniens asphaltisés et non asphaltisés, 1 m.;

2° Sables marneux verts et marnes bleues micacées à faune de mammifères d'âge oligocène supérieur (Aquitaniens s. l. = Chattien) et zones bitumineuses;

Au-dessus de la cantine de Pyrimont, la coupe se poursuit par :

3° Grès mollassiques, marnes rouge vif et bancs de calcaire lacustre blanc à *Helix Ramondi* formant un complexe plus ou moins épais. Cet ensemble, qui correspond au Chattien, est, en certains points, recouvert par l'Aquitaniens s. str. et même le Burdigalien dont on trouve des lambeaux conservés, avec dents de Requins, en amont et en contre-bas du pont de Pyrimont et sur les collines qui dominent le Rhône.

A Lovagny, l'Urgonien est surmonté par un calcaire chattien à *H. Ramondi*, qui alterne avec des marnes bleues à lignites, puis par la mollasse aquitaniennne. A Ferrières, on retrouve également les couches à *H. Ramondi* et l'Aquitaniens. Si nous retournons dans la région Pyrimont-Frangy, nous pourrons observer, au pont de Serrasson et au pont des Douattes, sur l'Urgonien à fentes bitumineuses, des sables éocènes bitumineux, les mêmes marnes rouges et blanches qu'à Pyrimont et les grès mollassiques superposés d'où suinte un bitume fluide. A Contamine-sur-Marlioz, ces couches sont recouvertes par des grès plus ou moins grossiers à gypse et des marnes vertes à *Cypris* qui constituent la partie supérieure de l'Aquitaniens, devenue saumâtre et annonçant ainsi l'arrivée de la mer burdigalienne.

Dans la vallée des Usses et le long du flanc oriental du Gros-

Foug, on a également, au-dessus des sables éocènes, des marnes bigarrées rognoneuses avec intercalations de gypse fibreux, autrefois exploité. Au-dessus, calcaire lacustre parfois bitumineux à coquilles d'eau douce (*Planorbis cornu*, *Pl. declivis*, *Helix corduensis*, *H. carducensis*) et *Chara*. On ne trouve plus de gypse vers le Sud (calcaires lacustres de Droisy et de Crempigny). Il peut être intéressant de dire deux mots de la mollasse des environs de Genève, à titre de comparaison. Cette région a été récemment l'objet de recherches très approfondies de la part d'Arnold Heim. D'après ce géologue, la succession est la suivante à Dardagny, Satigny, La Plaine :

1° Marnes gris-bleu avec gypse et bancs calcaires à *Chara*, coquilles d'eau douce ou saumâtre, 30 m. (Avanchet, Bernex);

2° Marnes bigarrées et grès comprenant :

- | | |
|---------------------------------|-------------------------------------|
| a) Couches stériles, 200 m. | } Pas de fossiles, faciès saumâtre. |
| b) Couches pétrolifères, 150 m. | |

Les couches n° 1 correspondent à l'Aquitaniens; celles du n° 2 au Chattien. On voit donc que les affleurements du Pont-de-Serrasson et des environs de Seyssel ne sont que le prolongement vers le Sud des horizons pétrolifères de la plaine mollassique suisse, et que ce sont des complexes saumâtres, donc favorables, en principe, à l'élaboration du pétrole.

3. Description des gisements.

1° BASSIN DE BELLEGARDE. — Cette région peut être considérée comme une large vallée synclinale du Jura méridional (Douxami), comprise entre les deux premières chaînes jurassiennes, le Crédo à l'Est, le Colombier à l'Ouest. Elle se prolonge au Nord jusque vers les Rousses, au Sud, par ses deux bifurcations de Rumilly et du lac du Bourget, jusqu'à Chambéry et Couz. Le pli du Gros-Foug se prolonge dans la mollasse qui dessine au niveau de Frangy un léger anticlinal. L'asphalte est localisé dans l'Urgonien et secondairement dans l'Eocène, l'Oligocène et même le Miocène. C'est surtout le long de l'axe Seyssel-



Bellegarde que sont échelonnés les gisements les plus importants, que nous étudierons sous le nom de « concession de Seyssel ». Un second paragraphe sera consacré aux « concessions de Musiège-Pont-des-Douattes », situées à l'extrémité méridionale de l'anticlinal Vuache-Mont Musiège, c'est-à-dire à l'Est des gisements précédents.

Concession de Seyssel. — La zone imprégnée s'étend de Pyrimont à Forens, au Nord de Bellegarde. L'asphalte y est très réputé et fort recherché. La longueur de la concession est de 16 km., la largeur de 3 km., la superficie de 51 km². Elle s'étend de Seyssel à Bellegarde; elle est bordée à l'Ouest par Chanay, L'hospital, Beriaz, Billat, à l'Est par Bassy, Challonges, Franciens. Elle suit par conséquent le cours du Rhône; nous l'étudierons dans son ensemble, bien que quelques mines soient dans le département de l'Ain. C'est l'Urgonien qui est asphaltique, sa surface est très ravinée et c'est sur cette surface karstique, datant de la période d'émergence pendant laquelle se sont déposés les sables continentaux éocènes, que s'est stratifiée la mollasse (fig. 1 et pl. III).

La concession de Seyssel comprend les deux gisements en activité de Challavrey et de Volant, et le gisement de Franciens, où l'exploitation est momentanément arrêtée par des éboulements.

a) Volant. — Ce gisement est situé sur la rive gauche du Rhône. L'Urgonien affleure en amont du pont de Pyrimont; l'exploitation est souterraine et se prolonge même sous le lit du fleuve. Ce terrain est formé de niveaux alternativement durs et crayeux. Les bancs durs sont très compacts et non imprégnés, mais ils peuvent être fendillés; les fentes sont alors garnies de bitume et semblent mettre les couches d'asphalte en communication les unes avec les autres. Les bancs crayeux sont constitués de nombreux organismes faiblement liés par le ciment et sont généralement asphaltiques (v. diagnoses de ces différents types de calcaires, *ante* p. 34). Le même Urgonien se retrouve

sur la rive droite du Rhône, il est également imprégné, mais n'est pas exploité; il est probable que les niveaux de la rive gauche doivent s'y poursuivre en partie.

Il existe à Volant 8 couches ou lentilles étagées (pl. III), bien reconnues et exploitées, et qui sont, de bas en haut :

1° La nouvelle couche, qui est au-dessous du niveau du Rhône et qui possède jusqu'à 11 m. de puissance. L'étanchéité des galeries est parfaite et les rares venues d'eaux sont uniquement dues aux sources de la couche suivante superposée;

2° La première couche, intéressante pour le géologue parce qu'on y peut observer une belle coupe montrant le contact de l'Urgonien avec le Tertiaire (v. *ante* p. 36). Ce dernier terrain débute par un intéressant conglomérat à galets urgoniens intacts ou asphaltisés, montrant que l'imprégnation asphaltique est antérieure à l'Oligocène supérieur (Chattien);

3° La deuxième couche, très sèche, qui confine à l'Est au conglomérat et aux marnes;

4° La troisième couche, qui confine également au conglomérat. Elle se divise en deux bancs : le banc inférieur, compact, peu riche; le banc supérieur, crayeux et très imprégné;

5° La quatrième couche est en forme de fer à cheval très net; elle finit également vers l'Est, où elle est recouverte par l'Oligocène;

6° La cinquième couche renferme d'abondantes poches de bitume;

7° La sixième couche, la meilleure comme puissance, 7 m.; une source ferrugineuse;

8° La septième couche, recouverte par des graviers et des argiles quaternaires, 2 m. d'épaisseur.

La puissance moyenne de ces couches est de deux mètres; elles sont tendres et séparées par des bancs durs blancs et stériles. Les couches fertiles ont une tendance à se réunir vers

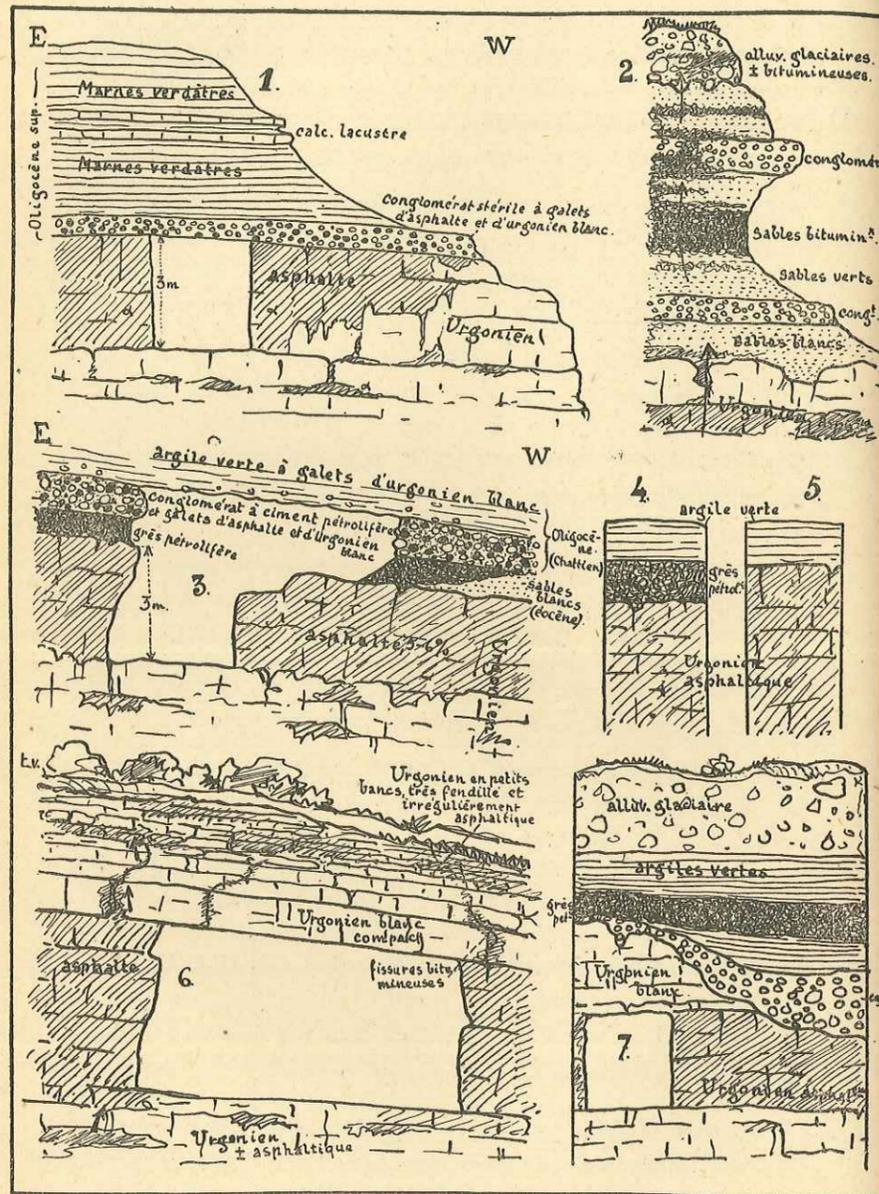


PLANCHE III.

le Sud-Sud-Est; elles s'imbriquent au contraire nettement au Nord-Nord-Est, où elles semblent finir en biseau.

Cet exposé de la succession des couches met immédiatement en évidence la transgressivité du conglomérat de base du Tertiaire sur le socle urgonien érodé. Les lentilles sont assez limitées et il ne semble pas que l'on ait grand intérêt à rechercher le prolongement de ces bancs à l'Est ou à l'Ouest¹. Quelquefois le stérile est irrégulièrement imprégné et montre, au milieu d'une masse brune, des noyaux blancs, durs, non imprégnés. Quelquefois les bancs stériles sont traversés par de grandes traînées bitumineuses, d'ailleurs peu nettes; ce sont les « cheminées d'alimentation » de L. Malo.

b) *Challavrey ou gisement de Pyrimont.* — Ces exploitations sont sur la rive droite, par conséquent dans le département de l'Ain. En montant de Pyrimont par le petit chemin qui traverse le passage à niveau, on ne tarde pas à rencontrer les premières exploitations, d'ailleurs abandonnées; les couches de l'Urganien y sont subhorizontales ou faiblement inclinées vers l'Est et montrent (pl. III, fig. 6), de bas en haut :

- 1° Une couche asphaltique de 1 m. à 1 m. 50, bien imprégnée;
- 2° Un banc compact de calcaire blanc sublithographique, bien lité, avec diaclases verticales à parois bitumineuses, 0 m. 20 à 0 m. 50;
- 3° Une couche très fissile, fendillée, mal imprégnée.

L'asphalte doit exister en profondeur, car les bancs compacts, situés au-dessous de la couche inférieure du n° 1, sont bitumineux par places.

Plus haut, nouvelle série de couches urgoniennes asphaltiques. Quelques assises grumeleuses grossières à taches de bitume, et une bonne couche actuellement exploitée. L'exploitation se

¹ Toutefois si l'hypothèse proposée plus bas pour l'origine des asphaltes (p. 66) se trouve vérifiée, il est évident que l'imprégnation doit se poursuivre surtout vers l'Est, sous le bassin mollassique.

fait par galeries dont les entrées se voient au bord de la route et en contre-bas. Il existe d'autres couches bien reconnues, mais pas exploitées pour le moment. L'épaisseur des couches de Challavrey est environ de 2 m. en moyenne; c'est la meilleure qualité de la région comme richesse en asphalte (jusqu'à 9,2 %), texture de la roche, régularité d'imprégnation.

c) *Mine de Franciens.* — L'exploitation y est arrêtée momentanément par des éboulements, mais elle est également intéressante. Une couche de 2 à 3 m. d'épaisseur est reconnue; elle semble analogue à la quatrième couche de Volant. Les bancs de l'Urgonien sont ici encore inclinés de 8° environ vers l'Est.

Les imprégnations bitumineuses dans le Tertiaire. — Les sables éocènes sont souvent bitumineux au voisinage de l'asphalte : ex., à Boge et à Challonges. A Boge, on a tenté de les exploiter¹. Une galerie de 50 m. a été creusée entièrement dans les sables. De même, au Nord de la concession de Challavrey, à quelques mètres du dernier affleurement de calcaire asphaltique, affleurent des sables bitumineux éocènes.

Quant à la mollasse, elle est aussi fréquemment pétrolifère, notamment dans toute la zone de la concession de Volant. A Surjoux, sables bitumineux sur l'asphalte exploité et souvent très riches (v. analyse ci-dessous). Il ne semble pas y avoir de relations de causalité entre le calcaire urgonien asphaltique et la mollasse pétrolifère, leur contact étant très varié : mollasse pétrolifère sur Urgonien blanc, mollasse non pétrolifère sur calcaire urgonien asphaltique, etc.

Analyses. — Teneur en bitume de quelques calcaires asphaltiques de la zone de Seyssel :

Challavrey, 2° qualité : 5,8 jusqu'à 6 %. Quelques bons échantillons vont jusqu'à 9,2 %.

¹ Actuellement, le meilleur corps pour séparer le bitume du sable est une lessive de potasse.

7° couche de Seyssel : 6,3 à 7,3 %.

Sables bitumineux de la 1^{re} couche : 9,3 % (concession Seyssel, rive gauche).

Sables bitumineux du Mont-Noir : 5 % (rive droite).

La teneur moyenne en asphalte des calcaires de la rive droite est de 4 à 9 % (Challavrey); celle des calcaires de la rive gauche est de 7 %. Les asphaltes de la rive savoissienne ont une composition plus égale que celle de leurs équivalents de l'Ain, lesquels sont, d'une façon générale, moins homogènes, tout en étant plus riches¹.

Analyse d'un calcaire asphaltique de Seyssel (Pyrimont) :

Eau perdue à l'étuve à 100°.....	1,90
Bitume.....	8
Matières minérales insolubles, acide.....	0,10
Alumine et peroxyde de fer.....	0,15
Carbonate de chaux.....	89,55
Carbonate de magnésie.....	0,10
Produits non dosés et perte.....	0,20
	100,00

(d'après Malo, *L'Asphalte* p. 229.)

Concession de Musiège-Pont-des-Douattes. — Il y a dans cette région deux choses à considérer : les asphaltes urgoniens d'une part, les sables éocènes et la mollasse pétrolifère d'autre part, probablement indépendantes (fig. 2).

Le trait géologique essentiel est l'existence d'un axe anticlinal Nord-Ouest-Sud-Est, à carapace urgonienne et noyau néocœmien, qui émerge de la mollasse, au niveau des Usses. Ce point est en outre situé à la jonction du bassin de Bellegarde avec celui de Saint-Julien-Genève (fig. 1). Le Mont de Musiège prolonge le Vuache, dont il est séparé par un abaissement d'axe, et vient mourir périclinalement au torrent des Usses où se rencontrent précisément les hydrocarbures localisés soit dans l'Urgonien, soit dans le Tertiaire.

¹ Ces indications m'ont été obligeamment fournies au bureau des mines d'asphalte de Pyrimont.

a) *Calcaire asphaltique urgonien*. — L'endroit le plus intéressant à visiter est l'ancienne mine dite du Pont-des-Douattes, dont on avait déjà extrait du calcaire asphaltique en 1878; restée inactive de 1884 à 1885, l'exploitation fut reprise en 1896, par la Société des asphaltes et pavages de Paris. Elle est présentement abandonnée.

Les couches urgoniennes ont un faible pendage vers le Sud (15 à 20°). Elles ne sont asphaltiques que sur la rive droite des Ussets. La couche imprégnée la plus importante est très riche; elle varie comme épaisseur de 1 m. 50 à 3 m.

En 1901, elle a produit 800 tonnes de calcaire asphaltique; les moyens de communication sont commodes, la mine étant au bord même de la route sur laquelle passera le tramway projeté d'Annecy à Seyssel¹. Malheureusement, l'exploitation a été très mal conduite; les piliers, qui, normalement, doivent être distants de 4 m., sont ici espacés de plus de 6 m., ce qui a provoqué l'effondrement d'une bonne partie du plafond. Le mieux serait, le cas échéant, de faire sauter à la mine ce qui reste du toit et d'exploiter à ciel ouvert en remontant dans la direction de la montagne.

Extension du calcaire asphaltique. — Il existe des indices de surface le long de la route de Frangy au Pont-de-Serrasson, aux communaux de la Ravoire, à la carrière de la Ravoire, sur tout le flanc occidental du Mont de Musiège. L'Urgonien y est du type compact à Requiéniens, à fissures et fentes bitumineuses. Le bitume semble ruisseler à la surface, il remplit également les géodes et les interstices entre la coquille des fossiles et leur remplissage calcaire.

Ces manifestations se poursuivent sur le flanc Sud-Ouest du Musiège jusqu'au torrent du Fornant, au-dessous de Chaumont. Il y a encore lieu de signaler les infiltrations d'eau avec huile

¹ Dont les travaux viennent précisément de mettre à jour de nouveaux affleurements de calcaires urgoniens asphaltiques recouverts de sables éocènes parfois bitumineux sur près de 3 m. d'épaisseur, et de mollasse.

qui se rencontrent à 50 m. de la fruitière de Musiège et qui, paraît-il, ont de tout temps attiré l'attention des habitants.

Tous ces indices sont très certainement en rapport avec des niveaux asphaltiques subordonnés, lesquels prolongent probablement ceux de la mine des Douattes.

b) *Mollasse pétrolifère*. — La région est assez difficile à explorer, car elle est recouverte d'un épais manteau de dépôts quaternaires; les affleurements tertiaires se rencontreront donc surtout dans les parties entaillées par les torrents. Le gisement le plus intéressant est celui du Pont-de-Serrasson; c'est du reste la plus ancienne exploitation de bitume citée en Savoie. En ce point, avons-nous dit, l'Urgonien du Musiège vient s'enfourer sous les sédiments tertiaires et le torrent a creusé dans le dos de l'anticlinal urgonien une minuscule gorge et suit à peu près les affleurements de la mollasse. La coupe est la suivante :

1° Urgonien à surface ravinée, avec poches de sables éocènes et fer hydroxydé à Serzin; la partie supérieure de cet Urgonien, bien visible au niveau des Ussets, s'y montre injectée de bitume, lequel s'écoule à la surface des bancs inclinés vers le Sud.

2° Marnes bigarrées rouge vif et petits lits rognoneux de calcaire lacustre (C. à *Helix Ramondi*).

3° Grès verdâtres et poudingues à cailloux blancs et silex (mollasse).

La partie supérieure de ce complexe passe aux marnes et grès à gypse et *Cypris* de Contamines et de Marlioz. Tout cet ensemble est probablement Chattien.

Le bitume qui sort de la mollasse est très fluide; les gens du pays ont aménagé pour le recueillir deux vasques situées dans la falaise (rive gauche), à quelques mètres en amont du nouveau pont, et s'en servent pour graisser les roues des voitures. Le bitume surnage sur l'eau et peut être enlevé aisément. Il sort de la roche par des fentes très légèrement obliques à la

stratification; mais il y a également des zones imprégnées, parallèles aux lits, de sorte que, vu sa fluidité et la nature saumâtre du dépôt, il semble bien que l'on soit en présence d'un gîte primaire, analogue à ceux de la mollasse suisse, étudiés par A. Heim, et dont ils constituent le prolongement manifeste. Il est vrai que l'hypothèse d'une venue secondaire de bitume partie de la profondeur est rendue plausible par l'existence de l'Urgonien asphaltique et des ruissellements bitumineux de ses parties supérieures près de l'ancien pont de Serrasson.

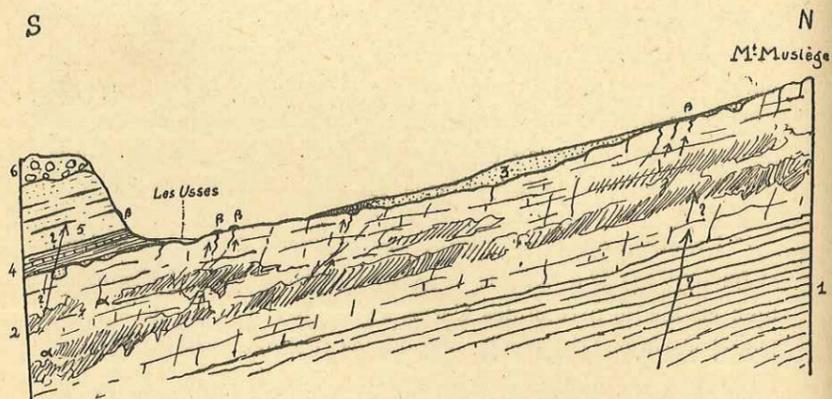


Fig. 2.

Coupe N.-S. de l'extrémité sud du pli anticlinal du Mont de Musiège.

1. Hauterivien; 2. Urgonien avec zones asphaltiques (α) et émissions de bitume (β) le long des diaclases; 3. Sables continentaux éocènes, bitumineux et ferrugineux et autrefois exploités à Serzin; 4. Marnes barriolées avec bancs de calcaire lacustre; 5. Mollasse marno-gréseuse verdâtre avec zones conglomératiques à cailloux blancs, émission de bitume (niveau du Pont-de-Serrasson) en β ; 6. Glaciaire.

Les grandes flèches indiquent le sens hypothétique de la migration des hydrocarbures ayant déterminé la formation du calcaire asphaltique et de la mollasse pétrolifère.

Toutefois, il ne faut pas perdre de vue que la mollasse pétrolifère est séparée de l'Urgonien dans toute la région par une

importante épaisseur de marnes pouvant très bien jouer le rôle de tampon imperméable. D'autre part, le bitume de l'Urgonien paraît être dans un état d'oxydation beaucoup plus avancé que celui de la mollasse.

Les sables pétrolifères du Pont-de-Serrasson ont été autrefois l'objet d'une exploitation sommaire. Puis la mine a été cédée, en 1903, par la Compagnie générale des asphaltes de France à la Compagnie anglaise du Val de Travers. De telles imprégnations bitumineuses ont été signalées en plusieurs points de la région, toujours dans ces mollasses; citons notamment la mollasse bitumineuse du moulin de la Rochelle, près Etrable. Il ne semble d'ailleurs pas que l'on puisse reprendre avec chance de succès tous ces gîtes tertiaires.

Leur seul intérêt est purement géologique et les conclusions réservées émises par Arnold Heim, à la suite de son étude des mollasses pétrolifères des environs de Genève, peuvent très bien être étendues à notre région.

2° RÉGION DE LOVAGNY. — Les conditions de gisements, aux mollasses pétrolifères près, sont analogues à celles des Douattes. C'est encore l'Urgonien qui est imprégné et au point où l'anticlinal du coteau de Lovagny vient s'ennoyer sous la mollasse, aux gorges du Fier.

Sa surface est également karstique et les anfractuosités remplies de sables éocènes; au-dessus reposent un calcaire à *Helix Ramondi*, des marnes à lignites et enfin la mollasse aquitannienne¹. Les gisements d'asphalte sont soit sur la rive droite (Bourbonge, Gardebois, Montrottier), soit sur la rive gauche (Chavaroche), mais ils sont peu intéressants dans cette dernière concession, sur laquelle cinq sondages pratiqués en 1904 sont

¹ Cette coupe est celle de la sortie des gorges. Celle de l'entrée, en contre-bas du passage à niveau, montre sur l'Urgonien, et sans discordance, des alternances de marnes, grès et poudingues aquitanniens, sans traces bitumineuses; les calcaires à *H. Ramondi* ont disparu.

restés dans le stérile. Les plus importants sont ceux de la rive droite, dont on peut très bien voir les galeries d'accès de la voie du chemin de fer.

Dans toute cette région de Lovagny, l'imprégnation bitumeuse est irrégulière, généralement faible (3 à 5 %), mais, en certains points, se trouvent des concentrations de bitume en poches. Ces calcaires asphaltiques ont été exploités dès le XIX^e siècle; leur pauvreté relative les fit abandonner, puis on y songea de nouveau lorsque l'on sut tirer parti des calcaires pauvres en y ajoutant, après broyage, du bitume pur importé (Trinidad) et du goudron de schistes d'Autun. Actuellement, les schistes d'Autun, dont le prix a beaucoup augmenté, ont été remplacés par du brai de Pechelbronn.

Concession de Bourbonge. — Le calcaire asphaltique s'exploite à ciel ouvert et par galeries. Il y a deux carrières à ciel ouvert et plusieurs galeries échelonnées le long d'une falaise d'érosion ancienne du Fier. Plusieurs couches, mais qui ne sont pas toutes exploitées simultanément. Il y a notamment une couche épaisse de 8 mètres, peu riche, mais très uniformément imprégnée, ce qui est très avantageux. En 1903, cinq galeries étaient en exploitation dans les parties riches d'un banc irrégulièrement imprégné. D'après Badoureau, le triage au jour, à Bourbonge, donne 20 % de stérile.

D'après le Service des Mines, le tonnage de calcaire asphaltique extrait de la concession de Bourbonge de 1917 à 1922 est le suivant :

1917.....	648 tonnes
1918.....	217 »
1919.....	260 »
1920.....	1.300 »
1921.....	2.208 »
1922.....	1.819 »

L'usine annexe de la mine a produit, en 1922, 1.325 tonnes de mastic asphaltique et 2.208 tonnes en 1921, contre 1.129 en 1920.

Ces produits sont, paraît-il, assez demandés et l'augmentation de la production serait en rapport avec l'amélioration des arrivages d'huiles de schistes et de bitume nécessaires à la fabrication des mastics.

Concession de Gardebois. — Cette mine est contiguë à la précédente et au Nord-Ouest; deux groupes de travaux en 1903 : Blosny au Nord (une seule entrée par puits), Bourbonge au Sud (une seule entrée par galerie); trois étages. Le triage donne également 20 % de stérile. Au cours des travaux récents de dérivation du Fier, on a découvert de nouveaux bancs très riches, ainsi que des poches de bitume. Les travaux de recherches (sondages) sont en cours.

Concession de Montrottier. — Contiguë à celle de Bourbonge au Nord-Est. Quatre couches, dont trois exploitées de 2 m. 50 à 5 m. La couche supérieure possède 4 à 5 m. d'épaisseur, celle des couches inférieures varie de 2 m. 50 à 3 m.

Les bancs de stérile séparant les couches varient de 3 à 8 m. Ils sont naturellement compacts, tandis que les bancs asphaltiques sont tendres.

Les bancs de l'Urgonien sont légèrement inclinés vers le Sud. Les travaux, en 1903, étaient concentrés sur l'escarpement de la Frottaz, où trois galeries ont été ouvertes, à 8, 10 et 20 m. au-dessus du pied de la falaise.

En 1910, on a trouvé en profondeur une couche de 1 m. 80, séparée par 1 m. de stérile d'une couche d'asphalte inférieure de 2 m. 70 à 3 m. d'épaisseur; ces travaux ont été abandonnés. Les bancs stériles sont compacts, blancs, sans infiltrations. Les bancs imprégnés sont, comme toujours, crayeux. L'imprégnation asphaltique permet de suivre les relations mutuelles de ces deux sortes de textures, qui ne sont pas toujours régulièrement alternées. Ainsi, il peut exister, dans une galerie creusée dans le calcaire asphaltique, des murs latéraux compacts où s'est

arrêtée l'imprégnation et qui correspondent à un changement de structure de la roche et non à une faille.

Au-dessus de Lovagny, un puits de 12 m. a atteint une couche de 8 m. d'épaisseur; la roche est plus fine que celle du bas, mais moins riche en asphalte; sa teneur moyenne est de 4 %, tandis que celle du calcaire de Montrottier peut atteindre exceptionnellement 8 %.

L'exploitation de la concession de Montrottier, arrêtée en 1918, a été reprise en 1920 et 1921 et très développée en 1922. Le tableau suivant indique le tonnage de calcaire asphaltique abattu et la quantité de produits fabriqués à l'usine :

	Tonnage.	Mastic.	Lithophalt.	Bitume épuré.
1920.....	195,5 tonnes	263	176	52
1921.....	1668,5 »	1774	243	146
1922.....	4179 »	2853	799	209

Extension du bassin. — Difficile à préciser. Les travaux pour l'aménagement industriel du Fier ont montré qu'il existait un peu partout dans la région de l'Urgonien plus ou moins asphaltisé, c'est dire qu'il doit exister en profondeur des niveaux d'une richesse supérieure. Mais l'imprégnation, qui semble localisée sur le dos de l'anticlinal, doit être concentrée dans un rayon assez faible. Les sables éocènes et même le Quaternaire sont secondairement imprégnés à Marny, où on peut relever la coupe suivante, à partir de l'Urgonien (pl. III, fig. 2) :

- 1° Grès et conglomérats;
- 2° Sables verts et noirs, bitumineux (employés comme moules à la fonderie de Cran);
- 3° Conglomérat;
- 4° Alluvions de progression glaciaire consolidées en béton.

Les niveaux n° 1, 2, 3 constituent l'Eocène et sont plus ou moins imprégnés de bitume, de même que le Glaciaire.

Analyse d'un échantillon de calcaire asphaltique de Lovagny
(faite en 1922 au Laboratoire du pétrole de Strasbourg) :

Bitume.....	4,46 %.
Matières volatiles à 105°..	2,3
Cendres.....	93,3
Analyse des cendres :	
Al ² O ³	0,822 %.
Fe ² O ³	6,625
CO ² Ca.....	97,60
SO ⁴ Ca.....	0,482
CO ² Mg.....	0,439
	99,968 %.

4. Conclusions.

Les asphaltes constituent donc une ressource fort importante pour la région; les gisements actuellement reconnus sont loin d'être épuisés, mais il n'est pas inutile, à la suite de cette étude géologique, de se livrer à des pronostics sur leur extension.

Sur quels indices pouvons-nous nous baser dans ces recherches ?

Nous avons déjà noté plus haut l'association remarquable et constante de l'Urgonien asphaltique avec les sables éocènes bitumineux et les mollasses pétrolifères. Nous avons également remarqué que le toit des couches d'asphaltes était presque toujours plus ou moins fissuré et bitumineux. Lorsque nous aurons repéré sur le terrain des indices de cette sorte, nous pourrions conclure à l'existence probable, en profondeur, de niveaux asphaltiques.

Dans le bassin de Bellegarde, les gisements sont fort bien étudiés et suffisamment reconnus; il est vraisemblable que les imprégnations doivent se continuer tout le long du Rhône et spécialement dans la direction du Nord. Les sables éocènes bitumineux n'y sont pas rares et la mollasse pétrolifère y prend un développement parallèle.

Si le pétrole de la mollasse est, selon toute probabilité, d'origine primaire, il n'en est pas de même de celui des sables siliceux éocènes. Le bitume qu'ils contiennent souvent en

extrême abondance ne peut pas s'expliquer autrement que par une migration partie de l'Urgonien ou de la mollasse; les renseignements que l'on peut déduire de leur existence en un point déterminé sont donc excellents. On n'attachait autrefois qu'une médiocre importance à cette relation des sables bitumineux et des asphaltes et l'on avait plutôt une tendance à dire : « sables bitumineux, pas d'asphaltes »; aujourd'hui, on pense le contraire, et avec raison.

L'exploitation abandonnée du Pont-des-Douattes pourrait être reprise avantageusement, car, outre qu'elle est très heureusement située, le calcaire asphaltique y est d'excellente qualité et d'une haute teneur en bitume; les travaux ont malheureusement rendu l'accès de la mine des plus dangereux, les piliers sont trop éloignés pour soutenir un toit qui s'éboule continuellement et qu'il conviendrait de faire sauter à la mine au cas d'une exploitation éventuelle. Celle-ci devra se faire à ciel ouvert; pour guider les travaux, il serait utile de pratiquer un petit sondage à quelque 100 m. de l'entrée de la galerie et vers le Nord-Est.

Des indices intéressants existent tout le long du flanc occidental du Mont de Musiège; l'Urgonien y est du type compact à fissures bitumineuses. Une source située au bord du chemin, à la sortie aval du village de Musiège, montre des irisations hydrocarburées. Toutes ces manifestations sont probablement dues au prolongement de la couche du Pont-des-Douattes.

Par contre, il ne semble pas que le flanc oriental du Vuache soit intéressant de ce point de vue. L'Urgonien y forme pan de voûte rompue : le gisement est donc ouvert, ce qui explique peut-être l'absence d'asphalte. Pas de sables bitumineux au contact. A ce propos, remarquons qu'au Pont-des-Douattes, l'asphalte imprègne les couches supérieures d'un anticlinal à plongement périclinal Sud très net : c'est donc un gisement fermé.

Les écoulements de bitume fluide du Pont-de-Serrasson, situés tout près des gisements précédents, sont les derniers vestiges vers le Sud des formations mollassiques pétrolifères, beaucoup

plus importantes, de la plaine suisse. Le bitume s'est formé *in situ* et n'implique nullement l'existence de pétrole en profondeur.

La quantité de bitume qui s'écoule est vraiment trop infime pour donner lieu à une exploitation industrielle et un sondage de recherche, même placé sur le prolongement de l'anticlinal du Mont de Musiège, risquerait de rester, sans résultats, dans la mollasse; poussé jusqu'à l'Urgonien, il rencontrerait l'asphalte, chose que l'on pouvait prévoir *a priori*.

A Lovagny, on retrouve plusieurs couches d'asphaltes étagées comme à Pyrimont; le gisement est du type fermé, car c'est l'extrémité périclinal du coteau de Lovagny qui est imprégnée; mais le Fier, en sciant transversalement la terminaison du pli, a mis à nu les couches d'asphalte. Celles-ci doivent se continuer en profondeur en bordure du pli; l'Eocène et même le Glaciaire sont imprégnés de bitume à Marny. Sur le flanc occidental, la voûte est rompue et l'Urgonien est stérile. Maillard a signalé autrefois des sables bitumineux éocènes sur le flanc oriental du Salève; mes recherches pour les retrouver ont été vaines, mais il n'y a pas impossibilité absolue à ce que l'asphalte de Lovagny se prolonge dans cette direction.

5. Usages des asphaltes de Savoie.

Les calcaires asphaltiques de Savoie sont uniquement employés dans l'industrie du pavage. Ceux de Pyrimont sont riches (moyenne : 7 %) et très cotés sur les marchés; ceux de Lovagny ne contiennent en moyenne que 4 % de bitume, mais sont, en revanche, très régulièrement imprégnés, ce qui est une qualité très recherchée.

Dans tous les cas, pour les utiliser, il est nécessaire d'augmenter la quantité de bitume. On procède d'abord au broyage, puis on ajoute à cette poudre de calcaire asphaltique du goudron de schistes d'Autun et du bitume de Trinidad. Les schistes

d'Autun, qui sont actuellement très chers, ont été remplacés par des brais de pétroles de Pechelbronn¹.

La proportion est environ de 3.500 kilos de poudre d'asphalte pour 300 kilos de bitume; on cuit jusqu'à consistance pâteuse et le résultat est coulé en pains.

On fabrique à Lovagny (usine de Montrottier) des pavés en asphalte comprimé dits « lithophalt » et qui ont servi au pavage de la ville d'Annecy. On torréfie la poudre d'asphalte dans des appareils à rotation, puis on passe à la presse hydraulique.

Il y a une utilisation possible de l'asphalte à laquelle on songe beaucoup moins et qui serait susceptible de donner des résultats intéressants : c'est la distillation. L'asphalte du Val de Travers, qui est analogue à celui de Pyrimont comme constitution et proportion de bitume, a été autrefois l'objet de tentatives dans ce sens. On distillait en vase clos pendant 6 heures, dans des cornues à gaz et par 600 kilos de roche fragmentée. On recueillait, au bout de l'opération, de l'eau, du gaz d'éclairage et un pétrole brut (40 à 50 litres à chaque cuite). Ce dernier donnait, après rectification, un pétrole léger, un pétrole lourd et du goudron.

Cette opération, si toutefois on n'y a pas songé déjà, pourrait être tentée à Pyrimont ou à Lovagny. La distillation pourrait être amorcée sur place, on extrairait les goudrons et les benzols et on enverrait ces produits à distiller à Pechelbronn, par exemple.

¹ A ce propos, il se pose un problème intéressant. Ne pourrait-on pas remplacer ce bitume importé par le bitume extrait des sables bitumineux qui accompagnent généralement le calcaire asphaltique? On sait, en effet, qu'il est actuellement très facile d'extraire tout le bitume contenu dans des grès ou des sables siliceux par le traitement à la lessive de potasse ou de soude. Malheureusement, ces formations ne sont jamais très abondantes dans nos régions. Cependant, si la mine d'asphalte du Pont-des-Donattes était remise en activité, l'opération pourrait être tentée avec les sables bitumineux qui recouvrent le calcaire asphaltique, parfois sur plusieurs mètres d'épaisseur, au-dessus du tunnel en construction (rive gauche) pour le tramway d'Annecy-Frangy.

B. — LE PÉTROLE EN SAVOIE.

Il est inutile d'orienter les recherches dans les zones internes, Maurienne, Tarentaise, où les refoulements latéraux ont été si violents que le pétrole, si tant est qu'il y en ait jamais eu, en aurait été chassé depuis longtemps. D'autre part, il n'existe pas, dans la série des terrains des zones externes, de formation lagunaire importante pouvant être invoquée comme roche-mère d'hydrocarbure.

Dans la zone subalpine, et notamment vers la cluse du Borne, à Saint-Jean-de-Sixt, le calcaire nummulitique est fréquemment noir, d'une forte odeur pétroloïde et, par places, bitumineux. A Châtillon, au Nord du vaste plateau de Flysch d'Araches, on connaît depuis plus de 60 ans des émissions de gaz inflammable. Les analyses ont montré que ce gaz n'était autre que du méthane; on peut constater qu'il sort des interstices des schistes du Flysch et qu'il ne possède pas les moindres relations génétiques avec le houiller de Taninges, lequel, comme on le sait maintenant, fait partie de la nappe des Préalpes et, par conséquent, est superposé et non subordonné au Flysch. Ces émanations sont dues à l'existence, en profondeur, de couches éocènes riches en lignites, lesquels se rencontrent communément à ce niveau dans la région (Pernant, Arclosan, Entrevernes), plutôt qu'à la présence hypothétique de carbures pétrolifères.

Des dégagements gazeux existent également dans le ravin de la Boisserette, près de Chambéry; c'est du Berrias que s'échappent ces gaz; notons que ce terrain présente des niveaux bitumineux près de la source bromo-iodurée de Challes.

Au pied de la montagne du Charbon, au Sud du lac d'Annecy, on a pu recueillir et analyser un gaz qui contient 13 % de méthane. C'est au-dessus du petit village de Marceau et dans les schistes du Valanginien que se trouvent les dégagements les plus abondants et surtout après la pluie, lorsque les fissures du sol ont été colmatées; le gaz peut même s'allumer facilement, paraît-il.

Mais ce sont là des manifestations isolées que l'on retrouve dans n'importe quelle série sédimentaire et qui ne prouvent pas du tout l'existence de pétrole en profondeur. Les gaz de Châtillon sont en relation avec des lignites profonds; quant aux émissions de la Boisserette et de Marceau, elles sont analogues à celles de la Fontaine Ardente de Vif (Isère); dans l'un comme dans l'autre cas, les gaz sont dus à des niveaux bitumineux très restreints, inclus dans les formations sédimentaires.

Il ne faut pas attacher grand crédit aux dégagements gazeux des environs de Bonneville, ainsi qu'aux irisations pétroloïdes du puits de Marinier, sur lesquels on a récemment et bruyamment cherché à fixer l'attention.

Par contre, la zone jurassienne, riche en produits dérivés (asphaltes urgoniens, mollasse pétrolifère), pourrait plus judicieusement faire penser à l'existence de naphte en profondeur¹. Mais, ainsi que cela ressort de ce que nous avons dit plus haut, il n'est pas logique de songer à une origine profonde de l'asphalte; nous n'avons donc plus que deux explications: ou l'asphalte est d'origine primaire, ou il provient de la mollasse superposée. S'il est primaire, le pétrole dont il dérive est complètement oxydé, asphaltisé; quant à la mollasse pétrolifère, même au cas où elle aurait cédé une partie de son huile à l'Urgonien, ce qui en reste est vraiment trop insignifiant pour motiver une exploitation autre que celle destinée à subvenir aux besoins locaux.

La question du pétrole en Savoie semble donc devoir être résolue par la négative.

¹ Signalons qu'à Châtillon (Ain) existent des émissions de gaz inflammable ayant donné lieu à des recherches vers 1853. Plus récemment, les sondages entrepris près de Vaux ont donné un peu de naphte, mais surtout d'abondants dégagements gazeux en partie industrialisés; ces dégagements peuvent être dus au Trias qui existe en profondeur, mais peut-être aussi à la mollasse puisqu'on se trouve dans une zone de recouvrements. Les travaux de sondages entrepris dans les environs de Lyon pour la recherche de la houille ont montré l'intercalation constante en profondeur et dans le Carbonifère de schistes bitumineux avec pétrole fluide, lesquels peuvent aussi être invoqués (roches-mères) pour expliquer les asphaltes jurassiens.

C. — ORIGINE DES ROCHES BITUMINEUSES DE SAVOIE. (asphaltes jurassiens, mollasse pétrolifère).

Nous venons de voir que les manifestations bitumineuses de Savoie sont localisées dans la zone jurassienne, ainsi que dans la région mollassique qui lui est accolée à l'Est. Elles fournissent à l'industrie des produits naturels qui sont parmi les plus intéressants de la région et il n'est pas inutile, au moment où se pose avec tant d'insistance le problème de la recherche des hydrocarbures, d'examiner à la lumière des faits que nous avons exposés ci-dessus, l'origine probable de ces corps.

C'est particulièrement l'Urgonien qui est imprégné par les hydrocarbures; les principaux gisements sont sur le même faisceau tectonique que les gisements suisses du Val de Travers, de même que les indices pétrolifères de la mollasse de Frangy sont sur le prolongement exact des affleurements plus importants de Dardagny et de La Plaine, dans les environs de Genève.

Nous aurons donc ici deux choses à étudier: d'une part les calcaires asphaltiques urgoniens, d'autre part les formations pétrolifères tertiaires.

Disons tout de suite qu'il ne fait plus de doute actuellement, à de rares exceptions près, que les pétroles soient d'origine organique. Ce n'est donc pas cette question que nous nous poserons à l'occasion des roches bitumineuses de Savoie. Le problème est ici de savoir si l'hydrocarbure est en place dans la roche ou s'il y est venu secondairement et, dans ce cas, de rechercher la roche-mère.

1. Mollasses pétrolifères.

L'examen attentif des principaux affleurements et spécialement de la coupe du Pont-de-Serrasson, près Frangy, nous a déjà montré que le bitume était en place dans la roche. C'est également la solution à laquelle est arrivé A. Heim dans son étude des sables pétrolifères du canton de Genève, lesquels font

partie de complexes analogues à ceux de Frangy. Au Pont-de-Serrasson, le bitume suinte d'une mollasse verdâtre qui repose sur l'Urgonien du Mont de Musiège par l'intermédiaire de marnes rouges très compactes. Ce bitume est très fluide, tandis que celui qui s'épanche de l'Urgonien sous-jacent est très visqueux, très oxydé, de sorte qu'il ne semble pas y avoir de relation de causalité entre l'un et l'autre. En outre, les marnes ont dû jouer le rôle de tampon imperméable entre les formations bitumineuses d'âge différent et empêcher les migrations. L'étude géologique de la zone asphaltique de Pyrimont-Seyssel conduit à des conclusions semblables. Il y a bien indépendance absolue entre l'Urgonien du substratum et la mollasse pétrolifère. En effet, tantôt la mollasse pétrolifère repose sur l'Urgonien blanc, tantôt c'est la mollasse non pétrolifère qui est au contact de l'Urgonien asphaltique, etc...¹. On a toutes les combinaisons possibles. De même, les galets du conglomérat de base du Tertiaire sont d'Urgonien asphaltique ou d'Urgonien blanc et dans un ciment lui-même imprégné ou pas (pl. III, fig. 3).

Le bitume de la mollasse de Pyrimont est donc d'origine primaire.

L'étude stratigraphique des formations tertiaires de cette vaste région vient confirmer cette opinion. Il est très difficile de suivre des horizons dans ces complexes, souvent très épais, et les rares fossiles découverts montrent que l'ensemble est d'âge chattien. Arnold Heim a montré² que les mollasses pétrolifères suisses de Dardagny-La Plaine étaient des formations saumâtres très monotones, souvent coupées de bancs de gypse. Les formations du bassin de Frangy-Seyssel prolongent vers le Sud ces mollasses; elles y présentent aussi des alternances plusieurs fois répétées de couches lacustres et de couches saumâtres à

¹ Ces faits, qui m'avaient frappé lors d'une visite aux mines de Pyrimont, avaient été déjà signalés par Arnold Heim (Le sondage pour la recherche du pétrole à Challex (Ain), *Eclogae Helv.*, vol. XVII, n° 1, juillet 1922).

² A. Heim et A. Hartmann, Untersuchungen über die petrolführende Molasse der Schweiz (*Beitr. z. Geol. der Schweiz*, Berne, 1919).

Cypris et gypse (Marlioz, les Contamines), plus ou moins imprégnées de bitume. Tout cela est bien le propre des complexes lagunaires, si propices à la formation des hydrocarbures.

Une lagune assez étendue, survivance des mers oligocènes, et au bord de laquelle vivaient les vertébrés de Pyrimont¹, a donc dû persister en bordure des Alpes, déjà esquissées à partir de l'Oligocène supérieur. Cette lagune n'a eu qu'une durée éphémère, puisque, dès l'Aquitainien s. str., un régime lacustre s'établit et qu'au Burdigalien, des eaux franchement marines réenvahissent la région. C'est dans cette lagune, en communication avec la haute mer par le Sud, qu'ont pris naissance les hydrocarbures destinés, avec le temps, à devenir les bitumes de nos mollasses. On conçoit qu'ils n'aient guère eu le temps de s'y accumuler!

Pour terminer avec les formations bitumineuses tertiaires, il nous reste à dire deux mots des sables siliceux éocènes. Ces dépôts, très abondants sur tout le revers oriental de la chaîne du Salève et dans la région de Pyrimont-Seyssel et de Frangy, se sont formés pendant une phase continentale; ce sont des produits de décalcification stratifiés dans les dépressions karstiques inondées des terres éocènes. A Lovagny, à Pyrimont, au Pont-des-Douattes, ces sables sont fréquemment et richement bitumineux, chose que leur mode spécial de formation empêche d'expliquer par une origine primaire; force est donc de songer à une origine secondaire et de faire intervenir une migration hydrocarbonnée issue de l'Urgonien asphaltique ou même de la mollasse. Il devient impossible de ne pas admettre cette migration si l'on songe qu'à Marny, au-dessus de Lovagny, les cailloutis fluvio-glaciaires sont eux-mêmes imprégnés.

¹ *Rhinoceros, Paratapirus, Amphicyon, Diplocoynodus, Peratherium*, etc. Ch. Depéret, Les Vertébrés oligocènes de Pyrimont-Challonges (Savoie) (*Mém. de la Soc. Paléontologique Suisse*, vol. XXIX, 1902).



2. Calcaires asphaltiques urgoniens.

De nombreuses théories ont été émises pour expliquer l'origine des asphaltes jurassiens, mais aucune n'est satisfaisante; elles sont d'ailleurs souvent très contradictoires.

Tout d'abord, il est un fait remarquable : c'est que l'imprégnation asphaltique est presque exclusivement localisée dans l'Urgonien. On cite cependant, dans la chaîne du Jura, de rares hydrocarbures dans des terrains différents : Gault (Bellegarde), Aptien (Saint-Aubin), Hauterivien (Mont Chamblon, près Yverdon; Mont Vuache, près Chaumont), Kimmeridgien¹ (Orbagnoux, Angelfort, Corbonod), Bajocien (flon bitumineux des Epoisats, de Noiraigue). Mais les seuls gîtes importants, exploitables, sont dans l'Urgonien. D'autre part, cet Urgonien asphaltique est presque toujours au voisinage de la zone mollassique, elle-même pétrolifère, mais à un degré moindre.

a) *Caractères de l'asphalte en gisement.* — Voyons comment se présente l'asphalte dans la roche urgonienne.

L'asphalte imprègne les zones crayeuses de l'Urgonien; il est toujours dans le sens de la stratification, même si les couches sont redressées. Quelquefois, cependant, on observe des traînées verticales perpendiculaires aux couches, correspondant à des fissures ou à des zones crayeuses; cela montre simplement qu'il peut exister des migrations dans la roche elle-même (pl. III, fig. 6). C'est d'ailleurs ce qui se voit parfois sur les bancs superposés aux zones asphaltiques riches : l'asphalte s'est infiltré par capillarité dans les fentes du toit, généralement formé de calcaire compact. Comme il y a excès de bitume et que tout ne peut pas se loger dans le réseau des fissures, le bitume revient, ruisselle, ce qui constitue, pour les mineurs, une indication assez précise de bancs stériles.

¹ Ces roches kimmeridgiennes sont des schistes bitumineux, par conséquent bien différentes des roches d'imprégnation, puisque le pétrole ne peut en être extrait que par distillation.

A Lovagny et au Pont-des-Douattes (Mont Musiège), l'asphalte imprègne les parties crayeuses du dos d'un anticlinal urgonien qui vient s'enfoncer sous le Tertiaire.

A Pyrimont et à Seyssel, on compte de nombreuses couches imprégnées correspondant également aux zones poreuses de l'Urgonien; mais les dispositions tectoniques de la région sont différentes, les gisements sont échelonnés le long d'une vallée légèrement synclinale.

Enfin, au Val de Travers, le calcaire asphaltique forme un synclinal très net, entouré de toutes parts par le Jurassique.

Ces remarques montrent qu'il n'existe pas, actuellement du moins, de relation entre l'asphalte et la tectonique. Les zones imprégnées sont même, à certains égards, obliques aux zones tectoniques.

b) *Age du bitume.* — Admettons *a priori* que l'asphalte ne soit pas en place dans l'Urgonien. Une première conséquence résulte de ce qui précède : c'est que l'Urgonien était déjà asphaltique bien avant les plissements qui ont affecté la région, car, sans cela, l'imprégnation se serait, d'après la théorie anticlinale (rassemblement du pétrole fluide, plus léger que l'eau, sur les axes anticlinaux) calquée sur la tectonique. Or, les plissements datent ici de la fin du Miocène, ils sont post-Pontiens.

Mais on peut assigner une limite supérieure très précise à la venue hydrocarbonée (toujours en admettant l'origine secondaire de l'asphalte) par l'étude du contact Urgonien-mollasse à Pyrimont. Dans cette localité, ce contact est une surface de transgression très nette; le conglomérat qui est à la base de la mollasse renferme des galets d'Urgonien blanc, mais aussi, ce qui est intéressant, des galets de calcaire asphaltique. L'asphalte était donc déjà en place dans l'Urgonien au moment du dépôt de la mollasse. Or, on a pu fixer très exactement l'âge de cette mollasse, grâce aux ossements de vertébrés qui ont été découverts dans les sables verts superposés aux conglomérats. MM. Depéret et Douxami (*loc. cit.*) ont montré que ces débris devaient être rapportés à des formes de l'Oligocène supérieur,

ce qui nous permet de conclure que la principale migration hydrocarbonnée, si migration il y a, ne peut être postérieure à cette époque.

Léon Malo¹ a même voulu trouver une preuve de l'ancienneté plus grande de la venue asphaltique dans le fait de la régularité de l'imprégnation. Pour cet auteur, en effet, l'imprégnation est trop homogène pour s'être opérée sur un calcaire fendillé par les mouvements orogéniques; la mise en gisement des bitumes est donc antérieure aux tout premiers plissements qui ont affecté la région, c'est-à-dire à l'Eocène inférieur, puisque, ainsi que nous l'avons déjà dit, cette période a été une phase continentale. Mais on peut répondre à cet argument que le jeu des forces capillaires ne peut être troublé dans un calcaire crayeux fendillé; en effet, à Lovagny, des morceaux de calcaire asphaltique inhomogène, abandonnés à l'air pendant un certain temps, régularisent leur imprégnation.

Le seul fait précis est donc celui établi par l'examen du contact de la mollasse de Pyrimont avec l'Urgonien et d'après lequel la venue bitumineuse serait anté-oligocène supérieur, soit anté-chattienne.

c) *Théories sur l'origine du bitume.* — Nous avons réussi à assigner au bitume une limite supérieure bien définie et nous avons vu qu'il n'était pas possible de dépasser cette date et de lui attribuer un âge éocène; il sera plus difficile encore de lui assigner un âge crétacé en cherchant à reculer de plus en plus notre limite et montrer ainsi qu'il est contemporain de la roche qui le contient, donc en gisement primaire. Ici, les faits manquent: pour démontrer l'âge éocène ou anté-éocène du bitume, il aurait fallu trouver des galets d'asphalte dans les conglomérats qui accompagnent les sables éocènes continentaux; or, toutes mes recherches dans ce sens ont été vaines². Nous allons

¹ L. Malo, *L'Asphalte*, 1888.

² J'ai cependant pu recueillir des galets d'Urgonien irrégulièrement imprégnés dans les sables éocènes superposés à l'Urgonien asphaltique du Pont-des-Douattes. Mais il est vrai que ces sables étaient eux-mêmes bitumineux et que l'imprégnation des galets a pu s'opérer secondairement.

donc être réduits aux hypothèses, aux théories, lesquelles se groupent sous deux chefs très différents:

Théories de la formation *in situ* ou de l'origine primaire;

Théories de l'origine secondaire, la venue de l'hydrocarbure s'étant effectuée *per ascensum* pour les uns, *per descensum* pour les autres.

C'est Jaccard et Knab¹ qui ont été les protagonistes de la théorie de la formation *in situ*. L'asphalte se serait formé au fur et à mesure du dépôt, par décomposition des parties molles des nombreux Rudistes dont on trouve les coquilles fossilisées dans l'Urgonien. Jaccard cite le cas bien connu des coquilles de Requienies remplies de bitume.

Parmi les partisans de la théorie de la formation secondaire, citons tout d'abord L. Malo (1865) (*loc. cit.*). Cet auteur admet le processus suivant: la distillation de la houille de la profondeur produit du pétrole et les gaz résultant de cette distillation montent à la surface et viennent se localiser sur les axes anticlinaux. L'oxydation et le départ des essences volatiles donnent le bitume, l'asphalte. C'est là une théorie *per ascensum*. Ces idées, tout extraordinaires qu'elles nous paraissent, ont été récemment reprises par C. Schmidt (*loc. cit.*) pour expliquer l'asphalte du Val de Travers.

L. de Launay², dans son traité classique des gîtes minéraux, adopte la théorie *per ascensum* et voit dans le Trias, formation lagunaire gypso-saline, que l'on retrouve dans tous les sondages profonds de la région, la roche-mère du pétrole. Cette thèse a été reprise en 1920 par M. J. Révil, dans une conférence sur le pétrole et la possibilité d'en trouver en Savoie. Le pétrole fluide serait monté de la profondeur pour venir se localiser et s'oxyder dans l'Urgonien.

¹ Knab, *Théorie de la formation de l'asphalte au Val de Travers (Mon. scientifique, p. 311, 1818)*; Jaccard, *Etudes sur l'asphalte et sur le bitume du Val de Travers, dans le Jura et la Haute-Savoie (1869) et Origine de l'asphalte (Eclog. Geol. Helv., 1890)*.

² *Gîtes minéraux et métallifères*, t. I, p. 522, 608 et 613.

Enfin, H. Schardt¹, au contraire, va pour la première fois rechercher la roche-mère de l'asphalte au-dessus de l'Urgonien, car, pour lui, ce terrain est trop dépourvu de fossiles pour expliquer une telle accumulation d'hydrocarbures. Seul le Gault, formation toujours très fossilifère et fréquente dans la région, lui paraît susceptible de jouer le rôle de roche-mère. En ce cas, l'imprégnation se serait faite *per descensum*, ce qui expliquerait la localisation de l'asphalte dans le synclinal du Val de Travers.

d) *Discussion.* — La théorie de L. Malo est abandonnée par la majorité des géologues qui préfèrent la théorie lagunaire pour expliquer la formation des hydrocarbures. Cependant, l'Américain Craig explique d'une façon assez voisine les pétroles américains; pour cet auteur, la formation du pétrole serait un phénomène parallèle à celui de la formation de la houille; le pétrole prendrait naissance dans une lagune analogue à la lagune houillère et par des processus spéciaux, mais avant que le stade charbonneux ne soit acquis.

Bien que les sondages récents exécutés dans les environs de Lyon, pour retrouver le prolongement du bassin de Saint-Etienne, aient montré l'association constante de naphte au terrain houiller, cette thèse a très peu de partisans. Nous verrons d'ailleurs qu'en ce qui concerne l'application que l'on a voulu faire aux asphaltes jurassiens, elle se heurte aux mêmes difficultés que celles émises par M. de Launay et qui consiste à faire venir le pétrole, origine de l'asphalte, du Trias. La difficulté n'est pas ici de chercher la roche-mère; elle consiste plutôt à expliquer l'ascension du naphte. On pourrait encore songer au Purbeck, formation laguno-lacustre du sommet du Jurassique, comme roche-mère possible, mais on n'y a jamais constaté la moindre trace de bitume et la migration du bitume reste toujours invraisemblable. Il est, en effet, difficile d'imaginer

¹ Notes sur les gisements asphaltifères du Jura (*Bull. Soc. Neuchâtoise des Sc. Nat.*, XXXVII, 1911).

ce mouvement d'ensemble du pétrole, parti d'une même roche-mère, sensiblement au même moment et en plusieurs points différents, pour venir finalement s'emmagasiner dans l'Urgonien. Il faut donc admettre que le naphte aurait systématiquement délaissé, au cours de son ascension, quantité de sédiments offrant, tout comme l'Urgonien, les propriétés d'excellentes roches-magasins. En admettant même que le bitume soit issu de la profondeur, il n'aurait pu atteindre son gîte actuel qu'en suivant le réseau des failles. Or, tous les gros ouvrages hydro-électriques récents ont montré la parfaite étanchéité de l'Urgonien (Brassilly, Val du Fier, Génissiat, mine de Pyrimont sous le Rhône). Il n'existe pas de failles importantes à Lovagny et à Pyrimont et les grands accidents longitudinaux du Val de Travers sont post-miocènes, donc très postérieurs à l'imprégnation.

La théorie de M. H. Schardt est plus séduisante, mais le Gault, dont il voudrait faire provenir le pétrole destiné à échouer dans l'Urgonien, ne possède qu'une épaisseur minimale et n'a rien d'une formation lagunaire; ce terrain n'est d'ailleurs qu'exceptionnellement bitumineux. La preuve qu'il donne du mécanisme, le gisement en synclinal du Val de Travers, n'a aucune portée puisqu'à Lovagny et au Mont Musiège, l'asphalte imprègne le dos d'un anticlinal.

En ce qui concerne la théorie de la formation *in situ*, on peut objecter à Jaccard et à Knab que l'Urgonien est une formation récifale franchement marine; les zones dolomitiques que l'on y constate parfois résultent de la transformation des bancs à Polypiers dont on voit toujours les squelettes plus ou moins altérés; ils ne constituent donc nullement l'indice d'une influence lagunaire. D'autre part, à y regarder de près, ce sont simplement les vides laissés par la dissolution de la coquille qui se sont remplis et non la coquille elle-même. Reconnaissons cependant que l'Urgonien ne renferme pas, comme organismes, que les seuls Rudistes. Les lames minces montrent que le bitume est localisé dans des bancs crayeux où pullulent les Foraminifères et parfois les Algues.

e) *Conclusions.* — Elles seront très difficiles à dégager.

Nous avons rejeté les théories *per ascensum* parce que l'ascension du pétrole à partir des deux seules formations susceptibles d'en contenir au-dessous de l'Urgonien : le Carbonifère et le Trias, est invraisemblable. Nous aurons donc à choisir entre une théorie *per descensum* transformée et la théorie de la formation *in situ*.

Dans le cas de l'origine *in situ*, il devient nécessaire, pour expliquer la formation de l'asphalte, de faire intervenir des processus nouveaux, un peu en contradiction avec les idées actuellement reçues, mais qui s'imposent si l'on rejette les théories *per descensum*. Ces hydrocarbures auraient pris naissance au voisinage des récifs urgoniens, dans des bassins peu profonds, et où prospéraient, auprès des colonies de Rudistes et de Polypiers, une abondante population de micro-organismes (Foraminifères, Algues). Les conditions de sédimentation rapide nécessaires pour favoriser la décomposition des organismes à l'abri de l'air devaient être réalisées dans ces eaux chaudes, riches en calcaire et toujours agitées.

Si l'on cherche du côté des théories *per descensum*, les difficultés ne sont pas moins grandes. Ni l'Aptien, ni le Gault, formations franchement marines et vierges de bitume, ne sont susceptibles d'avoir fourni une roche-mère. Quant à la mollasse superposée, formation lagunaire très souvent pétrolifère aux points où l'Urgonien est lui-même asphaltique, elle ne peut avoir joué ce rôle puisque, ainsi que nous l'avons vu plus haut, son dépôt est postérieur à l'imprégnation asphaltique. Nous avons d'ailleurs assez insisté sur l'indépendance absolue, quant à l'hydrocarbure, des deux formations, mollasse et Urgonien.

Par ailleurs, il reste ce fait troublant de la localisation exclusive des calcaires urgoniens asphaltiques sur la bordure orientale du Jura, celle qui est au contact du bassin mollassique.

Une solution, qui nous a été suggérée par M. le professeur Gignoux, tient compte de cette observation et concilie cependant la théorie *per descensum* et la théorie lagunaire classique; elle

aurait aussi le mérite de créer l'unité en montrant que l'asphalte n'est qu'une manifestation secondaire de la grande époque bitumineuse oligocène. Dans cette théorie, on admet que le calcaire urgonien aurait été imprégné de haut en bas par la mollasse pétrolifère stampienne; l'imprégnation aurait été antérieure au dépôt de la mollasse de Pyrimont et il est naturel de trouver, parmi les galets des conglomérats de base, des galets d'Urgonien asphaltique.

La difficulté est que le Stampien pétrolifère n'est pas connu en Savoie, mais rien ne prouve qu'il n'y ait pas existé (Baumberger a montré qu'en Suisse, une bonne partie de la mollasse devait être rangée dans l'Oligocène¹) et qu'il n'ait pas été déblayé au cours de la période chattienne (période continentale et lacustre), après avoir perdu son pétrole, au profit de l'Urgonien subordonné (pl. IV).

Telle est la théorie à laquelle nous pouvons nous arrêter provisoirement.

Avouons cependant que, dans l'état actuel de nos connaissances, nous ne savons rien de précis, ou presque rien, sur l'origine des asphaltes urgoniens du Jura et que l'on est toujours dans le domaine des hypothèses. Le rôle actuel du géologue se borne à réduire au minimum le nombre de ces hypothèses, cette série des interprétations possibles d'un phénomène géologique pourtant banal, qui nous sollicite, et que nous ne pouvons pas encore expliquer d'une façon satisfaisante.

¹ Baumberger, Ueber das Alter des Vaulruz und Ralligschichten (*Verhandl. d. Schw. Naturf. Gesellschaft.*, 1921, II, p. 207). Pour cet auteur, une partie importante de la mollasse suisse serait oligocène. La base de la série est en effet occupée en certains points par les couches à *Cyrena semistriata* contenant toute la faune saumâtre du Stampien. Ces conclusions doivent probablement être étendues aux mollasses de Savoie.

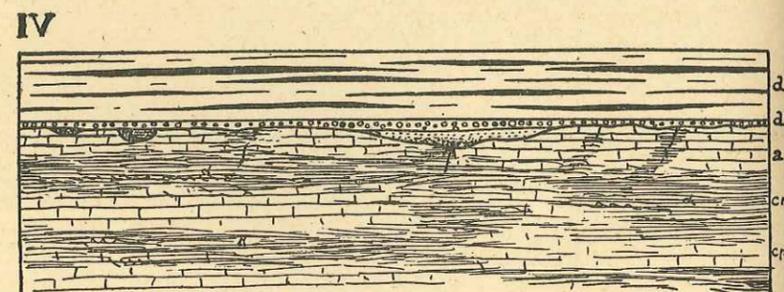
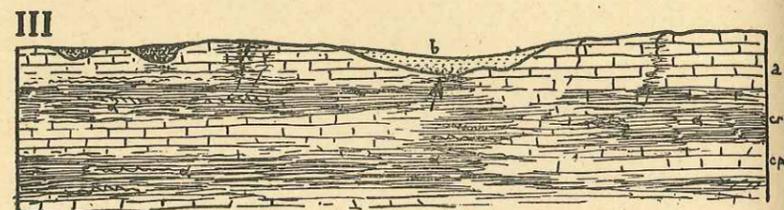
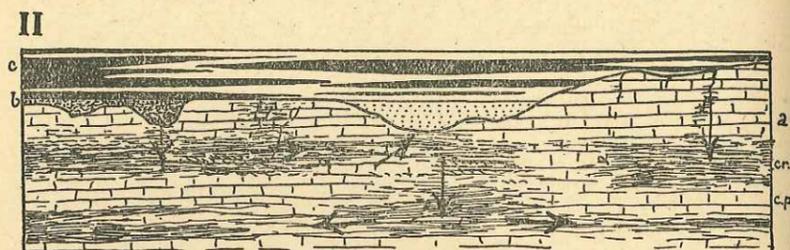
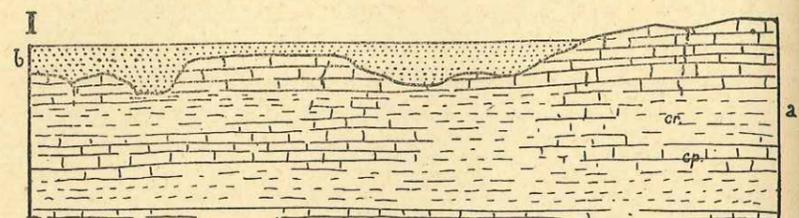


PLANCHE IV.

CHAPITRE II

Les combustibles minéraux

On trouve en Savoie plusieurs sortes de combustibles minéraux d'importance inégale et répartis dans des terrains divers.

Si nous allons des formations les plus anciennes aux plus récentes, nous aurons tout d'abord les vraies houilles d'âge carbonifère (anthracites) des zones intra-alpines, les charbons du Chablais (Bernex, Darbon, etc.) d'âge jurassique moyen, les lignites nummulitiques des zones subalpines, les lignites de la mollasse et enfin ceux du Quaternaire. Nous allons les étudier successivement en insistant surtout sur les anthracites, qui sont, de beaucoup, les plus intéressants combustibles de notre région (cf. carte des combustibles minéraux et hydrocarbures de Savoie, pl. V).

I. — ANTHRACITES¹.

Les anthracites intra-alpins se distinguent des houilles par l'absence de bitume et de gaz. Les exploitations sont le plus souvent locales, elles datent de temps immémorial, mais elles n'ont été vraiment actives qu'à partir du XIX^e siècle. L'anthracite se trouve dans la plus ancienne formation alpine renfermant des restes organiques fossiles, restes qui sont toujours des plantes, dont l'accumulation, dans des conditions spéciales

¹ M. L. Moulinier, bien connu par ses travaux sur les anthracites intra-alpins, a bien voulu revoir cet article : je suis heureux de lui adresser ici tous mes vifs remerciements.

que nous n'avons pas à envisager ici, a donné la houille. Le dynamométamorphisme, provoqué par les mouvements post-carbonifères, a transformé cette houille en anthracite en facilitant le départ des éléments bitumineux et gazeux. Les empreintes végétales étudiées, après de mémorables discussions, se sont montrées être du même âge que celles des houillères des bassins les plus réputés de France, c'est-à-dire d'âge westphalien moyen et supérieur et stéphanien.

A. — Généralités.

a) *La houille dans les Alpes françaises, extension, répartition géographique.* — Les Alpes françaises sont traversées dans leur partie axiale par une grande bande houillère (cf. carte des combustibles minéraux... I) qui s'étend des Basses-Alpes au Valais, en épousant la forme générale arquée vers l'Ouest de l'ensemble de la chaîne. Cette bande passe donc successivement par les Basses-Alpes, le Briançonnais, elle s'évase en Maurienne (où son épaisseur est maxima) et en Tarentaise; elle pénètre en Italie au col du Mont, puis elle se rétrécit à son entrée en Suisse (Grand-Saint-Bernard, Valais), où elle vient mourir près du Simplon.

D'après M. W. Kilian, on peut évaluer ses dimensions à 160 kilomètres de longueur sur 7 kilomètres de largeur moyenne, ce qui fait approximativement plus de 110.000 hectares d'affleurement¹. A elle seule, la Savoie en possède, d'après Barbier, un tronçon de 80 kilomètres de long sur 15 kilomètres de large, avec une moyenne de 100 à 120 couches reconnues en 1875, dont l'épaisseur varie de 1 m. 50 à 8 m. *A priori*, c'est un champ d'exploitation extrêmement important.

Au niveau de Briançon et de Modane, cette zone confine aux

¹ W. Kilian, Rapport sur le terrain houiller des zones intra-alpines françaises (Briançonnais, Maurienne, Tarentaise) et, en particulier, sur les dépôts anthracifères de Tarentaise (Grenoble, 1919).

formations métamorphiques des gneiss permocarbonifères de la zone du Piémont, lesquelles sont dépourvues d'anthracites, donc sans intérêt pour nous.

Si nous entrons dans le détail, nous constaterons que la « zone houillère » commence dans le Briançonnais méridional par plusieurs branches; elle y est parcourue obliquement par la Guisane entre Monestier et Briançon. Puis elle se bifurque et pénètre en Savoie aux abords du col de la Ponsonnière en donnant d'une part les affleurements de Valloires et des Mottes, d'autre part le bassin de Névache, la vallée de Valmeinier (Maurienne), le massif près de la plaine de Bissorte, le versant Est de la vallée de Valloires où se produit la jonction entre les deux branches.

La vallée de l'Arc, entre Saint-Michel et Modane, coupe la zone houillère, qui présente ici des affleurements considérables. Cette zone passe en Tarentaise par le col des Encombres et le massif de Pécelet; elle y est traversée par le Doron de Bozel; elle prend une ampleur nouvelle à Peisey et Macot, au Nord de Bourg-Saint-Maurice; elle passe en Italie au col du Grand-Saint-Bernard et arrive enfin en Valais où elle finit en s'effilant. Ce Houiller des zones internes est concordant avec sa couverture de Trias; de plus, son âge a pu être fixé au Westphalien.

Mais il n'y a pas que cette bande axiale houillère dans les Alpes. En effet, parallèlement à elle et vers l'extérieur de la chaîne, c'est-à-dire vers l'Ouest, existent de nombreuses petites bandes secondaires.

Un premier alignement est constitué par les gisements de l'Oisans et des Rousses (Isère), de Beaufort (Saint-Sorlin-d'Arves, Arèches, Fontanus), de la Girotte (la Gitte, Prarion, les Houches, Vallorcine), enclavés dans les schistes cristallins de la zone cristalline (cf. carte des combustibles minéraux, III). Un deuxième, par les gisements du bassin de La Mure, La Motte-d'Aveillans, du Graisivaudan (Isère), Dodon, la Ramiette (communes de Presles et d'Arvillard), Ugines (Savoie), plus extérieur encore (cf. carte... IV). Pour Badouveau, ce deuxième

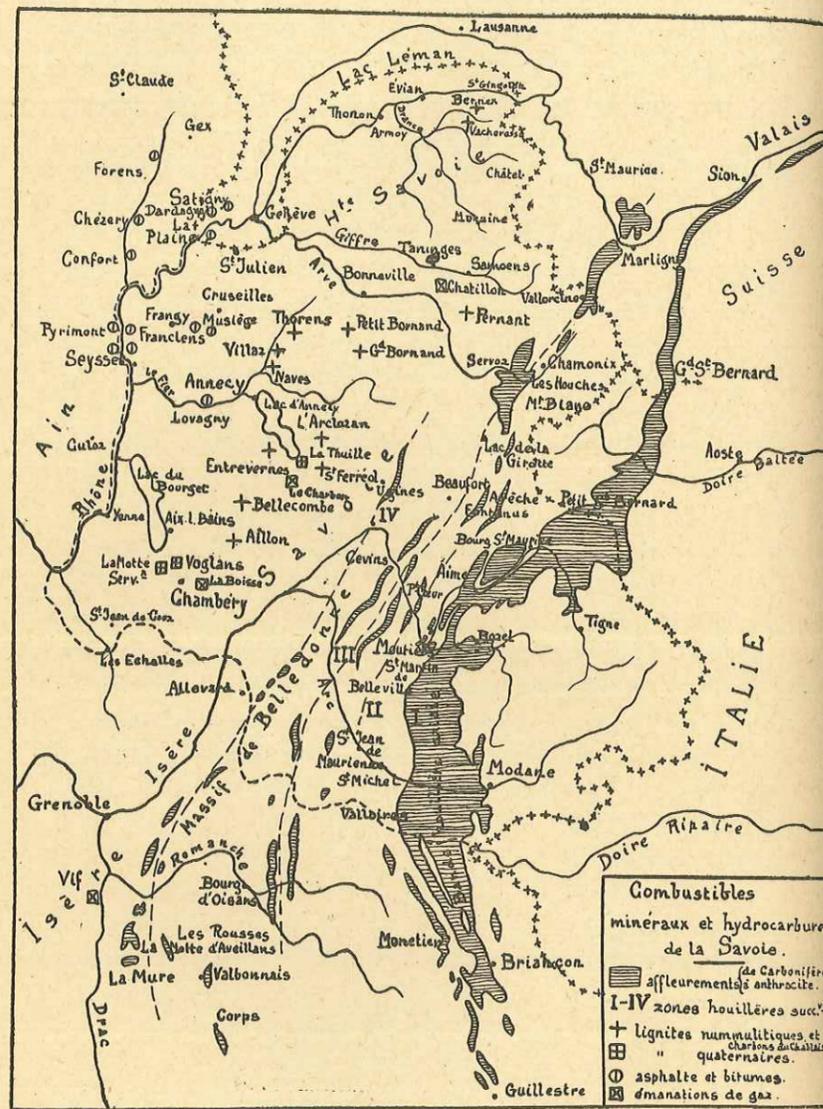


PLANCHE V.

alignement se poursuivrait par Taninges; or, nous savons que ce Houiller de Taninges fait partie des massifs charriés des Préalpes dont l'origine est à rechercher dans une zone plus interne des Alpes; la continuité admise par Badoureau est donc inadmissible.

Il existe même des bandes encore plus petites et plus internes (cf. carte, pl. V, II), comme celle de la localité classique de Petit-Cœur, en Tarentaise. Mais, d'après M. Kilian, le Houiller de la vallée de Belleville, en Tarentaise, est si près de celui de Petit-Cœur et celui-ci si rapproché des affleurements de Cevins qu'on est forcé d'admettre que tous ces gisements ne sont que des lambeaux d'une seule et même formation ayant échappé à l'érosion ou réapparaissant en anticlinaux. Ce Houiller des zones externes se distingue du précédent en ce qu'il présente ce que l'on appelle la double discordance (discordance sur le Cristallin et sous le Trias) et que les assises y sont d'âge stéphanien, donc plus récent que le Houiller des zones internes.

b) *Tectonique du terrain carbonifère alpin.* — Le Houiller des zones externes, celui qui est en rapport avec les massifs cristallins, présente donc la double discordance : discordance avec le substratum cristallin d'une part et avec le Trias subordonné d'autre part (ex. : La Mure, Petit-Cœur, col de Balme, etc...).

Dans les zones plus internes (massif du Rocheray, Pelvoux), le Houiller forme des petits synclinaux pincés dans les schistes cristallins et il est difficile de conclure à une discordance ou à une concordance à cause de l'intensité des plissements. Mais, dans tous les cas, il est d'âge stéphanien.

Dans la grande zone axiale, au contraire, il y a concordance entre le Houiller et le Trias, mais le substratum est inconnu; le Houiller, très épais (Stéphanien + Westphalien), y forme un grand repli anticlinal complexe déversé et charrié vers l'Ouest. Le contact anormal est bien visible aux plis des Encombres, en Maurienne. On a cru autrefois à l'existence d'un éventail

presque en place, l'éventail briançonnais, à cause de plis orientaux déversés vers l'Est. Actuellement, on considère de préférence cette zone comme une nappe venue de l'Ouest avec empièlements, étirements et grandes complications tectoniques.

Cette nappe est le prolongement vers le Sud de la nappe du Grand-Saint-Bernard. D'après M. Kilian, elle ne viendrait pas de très loin et son allure spéciale serait due à l'obstacle que les massifs hercyniens opposaient à la propagation des plis.

La superposition de plissements alpins aux plissements hercyniens a, en outre, profondément modifié les assises houillères qui sont fortement étirées et laminées. Les glissements de couches se sont produits au niveau des assises tendres de charbon, lequel a joué en quelque sorte le rôle de lubrifiant, d'où sa pulvérisation, son accumulation en certains points (chapelets, injections de fentes, truites ou inclusions fréquentes de roches dans les poches d'anthracite, pendant les mouvements alpins), les variations brusques dans l'épaisseur d'une couche déterminée.

c) *Stratigraphie et âge du terrain carbonifère alpin.* — Ce terrain est surtout formé de grès et de poudingues à éléments quartzeux; mais il existe aussi des schistes micacés, des schistes argileux noirs à plantes et à lits d'anthracite. Les grès sont gris, noirâtres et très charbonneux; en coupe mince, on y voit les éléments minéraux suivants: quartz, mica, séricite, dans un ciment siliceux, mais pas de micro-organismes. Le Houiller des Alpes est probablement une formation continentale, lacustre.

L'ensemble, très réduit dans les zones externes des massifs cristallins, peut atteindre en Briançonnais, en Maurienne et en Tarentaise, où les replis interviennent, près de 5.000 mètres d'épaisseur, d'après A. Favre.

Il est souvent difficile de différencier les sédiments du Flysch de ceux du Houiller, mais ces derniers ne contiennent pas de calcaire, comme cela est le cas pour le Flysch, de sorte qu'ils ne font pas effervescence à l'acide.

Il n'y a pas ici de brèches à blocs cristallins, comme dans la

zone hercynienne (poudingues de Vallorcine), mais dans certains points, surtout en Briançonnais septentrional, des roches éruptives postérieures au Houiller¹ (microdiorites, microgranulites) sont nettement intercalées dans ces complexes; elles y ont même localement transformé l'anthracite en graphitoïde (col du Chardonnet, bois de Malgovert, près Bourg-Saint-Maurice). Il est assez fréquent de constater que la houille pulvérulente et non transformée en graphite soit au contact direct des microdiorites; ceci prouve que ces dernières ne sont arrivées à leur position actuelle qu'à la suite de mouvements tectoniques, car, plus dures, elles se sont en quelque sorte incrustées dans les couches houillères.

L'examen de cette formation houillère est rendu délicat par l'existence des renversements de couches, des étirements et des glissements qui amènent au contact de l'anthracite des bancs qui ne sont ni le toit ni le mur originels. Cependant il existe des sols fossiles à *Stigmaria* assez nets, ce qui est, entre plusieurs, une preuve de l'origine autochtone et continentale de ces charbons.

Quant au renversement des couches, il est rendu assez net par ce fait que, fréquemment, c'est le mur qui est fossilifère, contrairement aux observations habituelles des mineurs.

Dans cet immense complexe houiller, il semble bien que l'anthracite soit localisé dans la partie supérieure du système, les grès et conglomérats stériles occupant la base.

Les schistes noirs des formations houillères ont livré d'assez bons restes végétaux (Cycadofilicinées) qui ont permis la détermination de l'âge exact du charbon et ses rapports avec les bassins du Plateau Central et du Nord.

La flore du Houiller des Alpes a été étudiée successivement par Brongniart, A. Favre, O. Heer, Grand-Eury, Zeiller, W. Ki-

¹ Cependant, dans les Grandes-Rousses, on connaît des Orthophyres contemporains du Houiller.

lian¹. Mais les trouvailles récentes de Ch. Pussenot² ont modifié assez sensiblement les idées antérieures sur l'âge des formations houillères des zones intra-alpines. Pour cet auteur, les grès à anthracite de la zone axiale alpine n'appartiennent pas exclusivement au Stéphanien, comme on l'avait cru jusqu'ici, mais pour une bonne part au Westphalien et spécialement aux horizons supérieur et moyen du Westphalien moyen.

Ce sont surtout les affleurements du Briançonnais et de la rive gauche de l'Arc qui ont fourni des plantes westphaliennes; plus au Nord, en Maurienne et Tarentaise, la série est complète du Westphalien au Stéphanien.

Seules les zones externes sont uniquement représentées par du Stéphanien : en particulier, on retrouve la zone des Cordaïtes à Petit-Cœur et aux Grandes-Rousses et la zone des Cévennes à La Mure, Servoz, etc.

Quant au gisement de Taninges, qui appartient au massif charrié des Préalpes, il a fourni de beaux échantillons de plantes d'âge uniquement westphalien.

En outre, dans cette puissante série, les lacunes sont nombreuses et importantes et sont dues soit à des alternatives d'émersion et d'immersion, soit même à des suppressions tectoniques complètes d'assises.

d) *Nature du charbon.* — *La nature du charbon varie suivant les couches et pour une couche donnée suivant le point considéré.* — Les anthracites alpins résultent du dynamométamorphisme de houilles; ils se présentent par conséquent soit en fragments meubles, soit en fragments recimentés par pression. Des fragments de stérile ont donc été introduits dans la masse du charbon en quantité plus ou moins considérable et c'est ce qui provoque la teneur en cendres parfois élevée de ces combustibles; cette teneur sera donc *a priori* en rapport direct avec

¹ Découverte de *Sphenopteris Essinghi* Andr. du Westphalien.

² Découverte de *Nevropteris Schlehani* Stur. du Westphalien moyen.

l'intensité de dislocation des couches, ce qui fait que le meilleur charbon sera celui situé sur les flancs normaux d'anticlinaux et le plus loin possible des charnières.

La plupart des auteurs, à la suite de H. Lachat, distinguent dans les anthracites de Savoie les trois variétés principales suivantes :

1° La variété stratoïde, la plus pure, mais très rare;

2° La variété grenue, formée de grains agglomérés d'anthracite et qui brûle bien, avec relativement peu de cendres;

3° La variété terreuse ou cendreuse, meuble, qui résulte des altérations de surface, des infiltrations d'eau, des mouvements relatifs des couches, et qui constitue un assez bon combustible.

Tous ces combustibles sont assez peu métamorphisés, mais très anthraciteux; leur teneur en matière volatile ne dépasse pas la moyenne de 5 %; ils ne produisent pas de fumée. Les anthracites de Tarentaise sont remarquables par leur absence totale de soufre, leur teneur en matière volatile est de 3 à 4 %; les coups de grisou ne sont pas à redouter. La teneur en carbone oscille de 89,77 à 65 %; elle dépend évidemment de la teneur en cendres.

La teneur en cendres est très variable, parfois élevée; d'après A. Favre, elle décroît du Sud au Nord. En Maurienne, pour 81,80 à 89,77 de carbone, il y a 4,57 à 6,10 de cendres. Ailleurs, et toujours d'après cet auteur, la teneur en cendres peut atteindre 18, 20, 25, même 30 % et plus¹. Ces cendres sont pulvérulentes, rarement scoriacées, riches en silice. La teneur en stérile peut être notablement réduite par le triage mécanique du charbon au sortir de la mine. Mais il faut, pour que ce triage puisse s'effectuer, que les fragments pierreux aient au moins 30 mm. La valeur industrielle des anthracites sur le carreau de la mine

¹ Mais tout cela ne signifie pas grand'chose, puisque la composition d'une couche varie, ainsi que nous l'avons dit plus haut, d'un point à un autre. Il faudrait spéculer sur des moyennes obtenues à l'aide d'un très grand nombre d'analyses.

dépend de la nature de son charbon pur, de sa teneur en stérile (eau + cendres qui diminuent beaucoup la valeur du combustible), de son pouvoir calorifique.

Voici, d'après A. de Mortillet, la composition de quelques anthracites bruts de Savoie :

	Saint-Michel-de-Maurienne.	Fourneaux.	Peisey.	Bozel.	La Perrière.
Carbone.....	60 à 71 %	77,27 %	71,49 %	81,50 %	83 %
Cendres.....	25 à 34	23,28	26,47	11,27	13,76
Eau.....	3 à 3,90				3,44
Matières volatiles.		4,50		7,25	

D'après Daymonaz, la composition moyenne de l'anthracite de Saint-Michel-de-Maurienne serait: C, 73 %; O, 3 %; H, 2 %; eau, 4 %; cendres, 18 %.

A titre de comparaison, je donne ici la composition typique d'un anthracite brut et celle du charbon pur du Valais, d'après Carl Schmidt¹ :

	Charbon brut (Valais)	Charbon pur (Valais)	Anthracites normaux	Anthraxolite
Carbone.....	61 %	92 à 96 %	93 %	95 %
H.....	1	1 à 1,5	3	1
O + Az.....	3	3 à 6,5	4	4
H ² O.....	5			
Cendres.....	30			

Les anthracites du Valais se rapprochent des anthraxolites; du point de vue pratique, ils ne sont pas comparables aux anthracites normaux, lesquels sont bien supérieurs.

Nous n'avons malheureusement pas à notre disposition d'étude technique sur les anthracites des Alpes françaises comparables à celles qui ont été élaborées au sujet des anthracites du Valais ou d'Italie.

Mais, comme nos anthracites de Savoie sont à deux pas de

¹ C. Schmidt, Texte explicatif de la carte des gisements de matières premières minérales de la Suisse (*Mat. p. la Carte Géol. Suisse, 1920*).

ceux du Valais et sur le même horizon, par analogie, nous pourrions en déduire *grosso modo* leurs qualités ou défauts essentiels.

On sait que la quantité de chaleur produite par la combustion d'un charbon est en raison inverse de sa teneur en oxygène et en raison directe de sa teneur en carbone et hydrogène. Or, pendant la combustion, O et H se combinent dans la proportion de 1 à 8 pour donner H²O; tout l'oxygène disparaît et l'hydrogène restant est ce que l'on appelle l'H disponible. Il y a beaucoup d'oxygène dans les anthracites du Valais, donc l'hydrogène disponible y est très réduit; partant, la chaleur de combustion y est plus faible que pour les anthracites normaux. Elle n'atteint en moyenne que 7.700 cal. kg., alors qu'elle peut aller jusqu'à 9.000 cal. kg. chez les anthracites normaux.

La faible proportion d'hydrogène disponible de l'anthracite du Valais fait qu'il donne peu de produits gazeux, d'où les difficultés que l'on rencontre pour l'enflammer; seul, il s'éteint, et il faut le mélanger à un meilleur combustible pour y arriver. C'est bien aux mêmes difficultés que l'on se heurte avec les anthracites des Alpes françaises¹.

Une remarque intéressante à signaler et qui résulte des nombreuses analyses d'anthracites faites par les savants suisses est que la chaleur de combustion des anthracites augmente des zones internes du Valais aux zones externes. On peut évidemment se demander si ce fait n'est pas à mettre en relation avec l'intensité progressive de l'effort orogénique. Le fait serait à étudier sur les anthracites des différentes zones des Alpes de Savoie².

¹ Des recherches entreprises récemment, sous la direction de M. Le Chatelier, et relatives à la teneur en hydrogène des anthracites, modifieront sans doute les données précédentes.

² D'après Barbier, l'anthracite des environs de Moûtiers est noir, grenu, sec, sans bitume, difficile à allumer; celui des environs de Beaufort est plus léger, d'un noir luisant, très inflammable. Or, notons que Beaufort est dans une zone plus externe et que les charbons de cette localité sont plus riches en gaz.

La même progression se rencontre en ce qui concerne le pouvoir calorifique, qui est de 4.600 cal. kg. dans les zones externes et de 4.400 cal. kg. dans les zones internes¹. Or ce facteur est inversement proportionnel à la teneur en cendres et en eau. Voici l'échelle que donne à ce sujet C. Schmidt (*loc. cit.*) pour les anthracites du Valais :

Teneur en cendres en %.	Pouvoir calorifique en cal.-kg.
3	7.500
10	6.500
15	6.000
25	5.000
30	4.800
31	4.400
40	4.000
50	3.000

L'analyse microscopique des anthracites du Valais y a montré l'existence d'impuretés formées de quartz, chlorite, muscovite, calcite, gypse, pyrite. Les filonnets de calcédonite y sont fréquents et, dans le cas de brèches anthracitiques, c'est encore ce minéral qui cimente les morceaux. La silice forme en moyenne 15 à 20 % du charbon entier.

De telles études seraient évidemment à entreprendre avec nos anthracites de Savoie, infiniment plus intéressants comme affleurements et qualité que ceux du Valais.

B. — Etude de quelques gisements d'anthracite de Savoie².

Ces gisements peuvent se répartir de la façon suivante :

1° Gisements des zones internes (Briançon, Maurienne, Tarentaise) :

¹ Pour les anthracites de Savoie ces chiffres devraient être portés, d'après les spécialistes, à 6.000 et 5.000 cal. kg.

² Ces chiffres constituent une bonne moyenne applicable à nos anthracites de Savoie.

³ D'après une remarque de M. Moulinier, les gisements d'anthracite intralpins sont nettement localisés sur la partie occidentale de la bande houillère.

a) Maurienne :

- I. Gisements de Saint-Michel (échelonnés entre Saint-Michel et Modane);
- II. Gisements de Valloires.

b) Tarentaise :

- I. Gisements de Tarentaise p.p.d. (Moûtiers, les Allues, Bozel);
- II. Gisements de la Haute-Tarentaise (échelonnés entre Aime et Bourg-Saint-Maurice).

2° Gisements des zones externes :

- a) Gisements de Beaufort, la Girotte, les Houches;
- b) Gisements de Presles, d'Arvillard, d'Ugines;

3° Gisements de la zone préalpine : gisement de Taninges.

1° Zone interne ou axiale. — a) MAURIENNE. — I. *Groupe de Saint-Michel-Modane.* — Le terrain houiller y est extrêmement développé et affleure transversalement de Saint-Michel à Modane, localité où il vient au contact des gneiss permo-carbonifères dépourvus de houille.

La *Compagnie des mines et usines de Saint-Michel et Sordières* exploite les concessions de Gorge-Noire, du Plan-d'Arc, de Sordières.

La *Compagnie des mines de Maurienne* exploite la concession du Pont-de-la-Saussaz.

De nombreuses couches ont été reconnues dans des complexes schisto-gréseux et conglomératiques très disloqués et d'inclinaison moyenne 45° E. à l'aval de Saint-Michel, 45° W. à l'amont. Le charbon, presque toujours très broyé, se présente en poches successives ou chapelets, de sorte que la continuité de gisement est inexistante et que l'exploitation en est extrêmement difficile, décevante et parfois aléatoire.

La plupart des mines de Maurienne ont été exploitées pendant

la guerre de 1914-18; quelques-unes ont été abandonnées depuis. La concession de Sordières est à plus de 900 mètres d'altitude; on y exploite une couche importante, dite « couche de Chapelu », variant de 1 à 12 mètres d'épaisseur, à allure lenticulaire en chapelets et donnant malheureusement 50 % de menu. Une faille dérange cette couche en un point et produit un rejet vers l'Ouest d'une dizaine de mètres environ. La mine dite de l'Étarpet, dans cette concession, a été très sérieusement équipée pendant la guerre. Lors de ma dernière visite, en 1922, elle ne fonctionnait pas. Il existe là trois couches à peu près verticales et légèrement inclinées vers l'Ouest. La principale couche exploitée possède 5 mètres de puissance; une galerie couverte suivie d'un travers-banc permet d'y accéder. Ces mines de Sordières fournissent du charbon aux usines de Saint-Michel qui en prennent quelques tonnes par jour. Près des mines existe un atelier de classage et d'agglomérés.

La concession de la Gorge-Noire, située à plus de 1000 mètres d'altitude, renferme cinq couches reconnues, sur lesquelles deux seulement sont exploitées et d'allure lenticulaire.

Les deux assises exploitées sur les trois qui ont été reconnues au Pont-de-la-Saussaz, en amont de Saint-Michel, ont en moyenne 0 m. 60 de puissance; leur direction est à peu près Nord-Sud; elles fournissent un charbon dur et de bonne qualité.

II. *Groupe de la vallée de Valloires.* — Ce groupe est moins intéressant, semble-t-il, que le précédent; à Valloires même, trois couches étaient reconnues en 1875, d'après Barbier, mais d'intérêt médiocre. En 1918, un groupe financier a commencé la mise en valeur des concessions de la commune de Valloires; les premiers résultats ont, paraît-il, été satisfaisants. En ce moment, les travaux de prospection ne sont pas encore terminés.

b) TARENTEISE. — Les affleurements de Houiller de Tarentaise sont moins connus, mais infiniment plus riches en charbons que ceux de Maurienne.

Trois Sociétés se partagent actuellement l'exploitation: la *Société des charbonnages de Tarentaise* consacrait son activité aux anciennes concessions de Corbières, Réel; la *Société minière des Alpes*, de fondation récente, exploite avec succès les concessions de Montchavin, Sangot, La Planta; enfin, la *Société des mines d'anthracite d'Aime* a développé les concessions de Combe-Chenalette, Planamont, Lequenay, Corbassière.

Là encore, l'exploitation, qui, avant la guerre, était extrêmement réduite, s'est surtout développée depuis cette période, grâce à la création de ces puissants organismes qui ont mis en valeur toutes les vieilles concessions inactives.

Le terrain houiller se montre, en Tarentaise, assez régulier et assez continu; on y observe fréquemment des répétitions de faisceaux de couches séparées par des plans de chevauchement, lesquels, vers Moûtiers, amènent les nappes de terrains secondaires du Mont-Jovet en recouvrement anormal sur le Houiller de la vallée de l'Isère. Ce Houiller lui-même forme dans son ensemble un anticlinal probablement complexe, déjeté vers le Nord-Ouest et accidenté près de Moûtiers de plusieurs petits replis synclinaux; cet anticlinal chevauche légèrement le Lias de Villette qui forme le fond de la vallée de l'Isère. Il reparaît dans la vallée de Landry, dans celle de Bozel jusqu'à Champagny; enfin, en Haute-Isère, on en connaît des affleurements à Tignes et aux Brévières; dans ces points, il reparaît en fenêtre au-dessous de la nappe de permo-houiller métamorphique du Mont-Pourri.

Les mines sont nombreuses et nous les répartirons en deux groupes:

1° Le groupe de la Tarentaise p.p.d., avec les gisements de Montagny, les Allues, La Perrière, Bozel, Pralognan, Champagny;

2° Le groupe de la Haute-Tarentaise, avec les gisements d'Aime, Macot, Bourg-Saint-Maurice, Peisey, Landry, Tignes, et qui est de beaucoup le plus intéressant des deux.

1° *Groupe de Tarentaise p.p.d.* — Au Sud-Est de Moûtiers, à Montagny, Barbier, à la suite de Lelivéc et de Mortillet, signale l'existence de trois couches principales, assez bonnes, de 1 à 4 mètres de puissance près Balme, à Roche-Noire (8 m. de puissance), Chenêts (7 m. de puissance)¹ et exploitées pour les besoins locaux. La seule mine importante, celle de Montagny, est actuellement en période de préparation par les soins de la Société minière des Alpes. Elle est probablement située sur le prolongement du faisceau de couches qui traverse l'Isère entre Aime et Sangot. Elle fournit un charbon tendre, assez pur. L'anhracite existe également aux Allues, à la Perrière, à Bozel, où il est exploité pour l'alimentation des fours à chaux et l'industrie locale. Les couches y sont nombreuses, mais on ne peut pas encore faire de pronostics sur la qualité du charbon.

Enfin, on a également signalé les affleurements assez riches d'anhracite grenu à Saint-Martin-de-Belleville, sur les deux flancs de la vallée et jusqu'au col des Encombres, où ils relient les affleurements de Tarentaise à ceux de Maurienne. Au col des Encombres, existe un gisement de plantes houillères anciennement signalé par Favre.

2° *Groupe de la Haute-Tarentaise.* — Les gisements y sont abondants et les couches nombreuses semblent puissantes, depuis Aime jusqu'au Petit-Saint-Bernard. Mais les exploitations sont localisées dans la vallée de l'Isère (Aime, Landry); l'anhracite exploité servait autrefois à la métallurgie des galènes argentifères de la région; actuellement, son usage a naturellement changé de destination.

La zone houillère, à son passage en Tarentaise, semble prendre, avons-nous dit, un aspect moins complexe que celui qu'elle possède en Briançonnais ou en Maurienne. C'est un grand anti-

¹ Il est évident que ces chiffres sont très relatifs puisque, ainsi que nous l'avons dit dès le début de cette étude, l'épaisseur d'une couche d'anhracite varie, dans les Alpes, d'un point à un autre.

clinal couché vers l'Ouest et accidenté, surtout au niveau de Moûtiers, de nombreux petits synclinaux secondaires. Ce Houiller est parallèle à l'Isère jusqu'à Aime; à partir de cette localité et jusqu'à Landry, il est traversé par l'Isère, dont le cours, plus au Nord, redevient parallèle aux affleurements.

Ce groupe de Haute-Tarentaise est très important; une bonne partie du bassin est reconnue, ce qui nous permettra d'insister sur les détails de structure et d'exploitation, ainsi que sur la détermination des régions intéressantes à mettre en valeur. Nous y distinguerons les gisements de la rive droite et ceux de la rive gauche de l'Isère.

α Mines de la rive droite de l'Isère. — Les affleurements de Houiller commencent un peu en aval d'Aime, où existent deux petites concessions (Granier et Côte d'Aime) sans intérêt et utilisées par les habitants pour leur usage personnel.

Plus à l'Est, se trouvent les concessions de Réel et Corbières, qui appartiennent à la Société des charbonnages de Tarentaise. Quelques couches ont été étudiées; seule, la concession de Corbières a été exploitée d'une façon suivie dans deux des trois couches reconnues.

A Montgirod, en face de Landry, existent trois ou quatre couches, en gros, parallèles à la vallée de l'Isère et remarquables par leur régularité, ce qui est rare dans les Alpes; en effet, elles se poursuivent sur près de 300 m. en direction et 50 m. suivant le pendage, avec une épaisseur moyenne de 2 m. 50. Aussi les travaux de recherches sont-ils activement poussés. L'extraction actuelle serait de 80 à 90 tonnes.

La Société des charbonnages de Haute-Isère exploite, à Bourg-Saint-Maurice même, une couche qui fournit un charbon tendre, mais assez propre.

β Mines de la rive gauche de l'Isère. — A partir de Moûtiers, on rencontre tout d'abord la mine de Notre-Dame-du-Pré (les Moulins), au-dessus de Pomblière-Saint-Marcel. Le Houiller y est en anticlinal étroit, pincé entre les bandes triasiques du



Jovet et de Longefoy. L'exploitation de cette mine, qui appartient aux usines de la Volta, est rendue difficile d'abord par son altitude (1500 m.), ensuite à cause d'abondantes venues d'eau. Aussi a-t-elle été abandonnée. Il faudrait la reprendre par un travers-banc dans le Trias: or, ce serait là un travail disproportionné aux rendements éventuels de la mine.

Plus loin, en face de Centron, les mines d'Aime ont fait effectuer quelques travaux de recherches qui ont montré l'existence d'une couche de mauvais charbon, probablement en rapport avec le faisceau productif d'Aime.

Parmi les concessions des mines d'Aime, seules celles de Lequenay (faisceau de Lequenay) et de Planamont (faisceau de Sainte-Marie) sont exploitées. Un travers-banc réunit ces deux faisceaux. A Planamont, comme à Lequenay, les couches s'élèvent en escalier (plateures et dressants), mais les cassures des serrées sont, à Lequenay, remplacées par des plissements, de sorte que l'allure en fuseaux successifs de la couche de charbon y est plus régulière. En outre, le bassin de Lequenay est limité vers la vallée de l'Isère par une faille très importante. Huit belles couches ont été reconnues, cinq sont exploitées; les autres n'ont pas encore été recoupées par les travers-bancs; aussi est-il, à l'heure qu'il est, difficile de préjuger de leur importance. Ces couches ont une direction moyenne Nord-Est-Sud-Ouest, 40° W., oblique par conséquent à celle de la vallée. Le faisceau Sainte-Marie paraît correspondre aux couches exploitées à Réel et à la galerie Joséphine (rive droite de l'Isère); celui de Lequenay correspondrait, *grosso modo*, aux couches de la concession des Corbières.

La concession de Combe-Chenalette, située près de la Plagne, a été autrefois exploitée pour les besoins des mines de plomb argentifère.

La Société minière des Alpes exploite des concessions situées en bordure de la vallée de l'Isère, à la suite de celles des mines d'Aime jusqu'à la vallée du Ponthurin (Peisey, Sangot, la Planta, Landry). Parmi ces concessions, celle de Montchavin à

Landry, située dans des terrains plus bouleversés, n'a pas donné jusqu'à présent de brillants résultats. On y signalait autrefois de belles couches que les travaux récents n'ont pas retrouvées.

Dans la vallée même du Ponthurin, qui, par rapport aux couches, est presque en travers-bancs, se trouvent les deux concessions de la Corbassière et de Montchavin (Mines d'Aime et Minière des Alpes), la première plus heureusement située, dans des terrains plus tranquilles. Une seule couche, peu régulière, de 2 mètres d'épaisseur moyenne, a été exploitée; elle fournissait un charbon tendre à 25 % de cendres en moyenne et un peu moins dans les parties compactes brillantes.

Sur la rive gauche de l'Isère, entre Landry et Bourg-Saint-Maurice, aucun travail de recherche sérieux n'a été entrepris.

Cependant, il y a des affleurements d'anthracite au Petit-Saint-Bernard, où on a signalé, un peu au-dessous de l'Hospice (Barbier), une couche assez riche, inclinée à 30° au Nord, avec un toit de schistes à plantes.

γ *Régions susceptibles d'être exploitées.* — M. W. Kilian a suggéré, pour explorer le bassin houiller de Tarentaise, le percement d'une grande galerie perpendiculaire aux couches, issue de la vallée de l'Isère et poussée sur plusieurs kilomètres jusqu'au-dessous du Mont Jovet. Ce serait le seul moyen d'acquérir des données sérieuses sur la richesse en combustible et sur le programme et les méthodes qui devraient diriger les travaux d'exploitation. Mais, en attendant la réalisation de ce projet grandiose, voyons où en sont les travaux et ce qui pourrait être fait pour l'amélioration du bassin.

Nous avons déjà parlé plus haut du travers-banc qui rendrait peut-être la mine de Notre-Dame-du-Pré exploitable. Mais, outre que ce serait là un travail extrêmement coûteux, la voie ferrée se trouve de l'autre côté de la vallée et un peu au-dessus du thalweg, de sorte qu'un travail de ce genre n'est pas à conseiller.

Dans les environs de Moûtiers et de Moûtiers à Aime, il n'a

pas été fait de travaux de reconnaissance sérieux. C'est là que des travers-bancs poussés sous le Mont Jovet permettraient de recouper les diverses couches exploitées plus au Nord-Est.

Mais d'Aime à Landry (rive gauche) et d'Aime à Bourg-Saint-Maurice (rive droite), le houiller est exploité. Les travaux de Sangot et Landry n'ont pas encore fourni de données très précises.

La meilleure méthode serait de pénétrer profondément et normalement aux flancs de la vallée, de façon à atteindre le terrain en place plutôt que de rester, comme cela a été fait, en galerie parallèle dans les zones disloquées.

Dans le groupe de Peisey, des travers-bancs à points de départ situés dans le fond de la vallée seraient peut-être, ici encore, la meilleure solution, l'exploitation des couches superficielles payant le creusement des travers-bancs. Enfin, des galeries de recherche dans le houiller normal subordonné au gneiss du Mont-Pourri pourraient sans doute retrouver l'antracite. Mais ces travaux, qui sont du même ordre que ceux prévus pour les environs de Moûtiers, demandent à être préparés par des études de détail très sérieuses et de longue haleine.

En résumé, bien que la concurrence de La Mure se fasse parfois sentir, l'antracite extrait des gisements de Haute-Tarentaise trouve, en Savoie, dans le Dauphiné et même en Suisse, des débouchés industriels.

Malgré les difficultés d'exploitation dues à l'altitude (complexité de l'évacuation), le rendement par ouvrier, assez élevé, permet de considérer les gisements de Tarentaise comme susceptibles, toute proportion gardée, d'une exploitation rémunératrice.

2° Zones externes. — a) GISEMENTS DE BEAUFORT-GRANDES-ROUSSES. — Ces gisements sont échelonnés le long d'une ligne située à l'Ouest de la zone axiale et qui part des Grandes-Rousses, dans l'Isère, pour aboutir en Suisse, aux abords de Martigny. En Savoie, les gisements stéphanien de Cevins,

Naves, Arèches, Fontanus, Hauteluze, les Houches et Vallorcine sont enclavés dans les schistes cristallins et jalonnent cette ligne. On peut rattacher à cette zone le gisement de Petit-Cœur, en Tarentaise, célèbre non point par ses anthracites, mais surtout par les discussions passionnées auxquelles il a donné lieu, ainsi que par la richesse et la beauté de ses empreintes végétales, universellement connues.

De Mortillet signale de l'antracite à Cevins, à la Fontaine de la Boucherie. Dans le canton de Beaufort, à Arèches, l'antracite affleure en une couche verticale de 1 m. 50 environ; il est de bonne qualité, mais l'exploitation est toute locale; à Hauteluze, aux abords sud du lac de la Girotte, on a fait des recherches en vue de recouper le prolongement d'une belle couche de 2 à 3 mètres de puissance et donnant un charbon un peu friable, mais assez bon. Des indices ont été signalés à Fontanus et dans le ravin de la Gitte. Enfin, aux Houches, dans la vallée synclinale de Chamonix, se trouve la mine du Coupeau, située en avant du massif du Mont-Blanc, en contre-bas du Brévent. L'exploitation de cette mine date de 1864. Elle ne fut concédée régulièrement qu'en 1873, puis passa de main en main.

L'exploitation a repris pendant la guerre, mais la production est allée constamment en diminuant (2.547 tonnes en 1919, 557 tonnes en 1922)¹. D'après Badoureau, il existait trois niveaux de charbon situés respectivement à 80, 140, 200 m. au-dessus de la vallée. Mais l'accumulation très irrégulière du combustible, qui forme des poches discontinues, ne permet pas de se livrer à de grosses spéculations sur son avenir.

Plusieurs affleurements d'antracite ont encore été relevés dans la région (Pormenaz, Servoz), mais d'un intérêt médiocre.

Enfin, les fameux conglomérats houillers à blocs granitiques de Vallorcine n'ont qu'un intérêt purement géologique: ils prouvent l'élévation très ancienne des massifs cristallins (Aiguilles-Rouges) de la région.

¹ La teneur en cendres de cet anthracite est de 25 %. On en fait des boulets qui sont vendus sur place; le calibré et le tout-venant sont utilisés pour les fours à chaux ou à ciments locaux.

b) GISEMENTS DE PRESLES, ARVILLARD, UGINES. — Ces gisements forment une nouvelle bande assez continue, encore plus externe que la précédente. Née dans l'Isère (Psychagnard, La Mure...), elle se poursuit en Savoie par les affleurements du Graisivaudan et d'Ugines.

Seuls, les gisements du bassin de La Mure sont réputés pour leur importance et la qualité des produits qui en sont extraits.

Les poudingues houillers d'Ugines étaient exploités autrefois comme pierres meulières.

Les lambeaux de houiller d'Arvillard, non loin d'Allevard, de Presles, ont été autrefois fouillés. La petite mine de la Ramiette, près de Presles, a été successivement exploitée, puis abandonnée; la couche utile était, d'après Mortillet, inclinée de 15° et épaisse de 0 m. 35 à 1 m. 40.

3° Zone préalpine. — *Gisement de Taninges.* — Ce houiller n'a pas grand intérêt industriel. Les affleurements du Houiller se trouvent derrière la localité, le long du torrent (Foron). Il y avait là autrefois plusieurs couches qui, d'après Mortillet, atteignaient de 1 à 1 m. 50 de puissance. M^{me} de Warens avait fait, ici comme à Pernant, des tentatives d'exploitation. Ce gisement est surtout célèbre par ses plantes fossiles qui ont été étudiées par Heer, ce qui a permis à ce paléontologiste de démontrer l'âge westphalien supérieur du charbon.

Actuellement, on ne voit plus que quelques anciennes galeries d'exploitation abandonnées et quelques maigres affleurements.

C. — Conclusions générales.

Il est certain que les bassins d'antracites intra-alpins renferment un tonnage considérable de combustible. Pour les seuls gisements de Tarentaise, il a été évalué par M. W. Kilian à près de 300 millions de tonnes !

Comme nous le verrons plus bas, ces combustibles sont parfois excellents et leur nature pulvérulente n'est plus inconci-

liable, actuellement, avec leur utilisation dans l'industrie. Malheureusement, ces produits sont dispersés sur une étendue considérable et dans des zones intensément plissées en séries isoclinales successives, de sorte que leur mise en gisement est extrêmement irrégulière et, partant, l'exploitation très difficile et aléatoire. Les méthodes importées des bassins houillers extra-alpins ne pourront s'adapter ici que d'une façon très insuffisante et il faudra surtout prévoir des installations d'un type nouveau, volantes, facilement transportables et adaptables d'un point à un autre.

Par conséquent, ici plus encore que pour les bassins extra-alpins, l'avenir des antracites de nos Alpes est lié à l'exploitabilité des couches, aux méthodes d'exploitation, enfin à la nature et aux usages actuels ou éventuels des charbons extraits.

Nous allons successivement examiner ces trois points.

a) *Notions sommaires sur l'exploitabilité des couches et les méthodes d'exploitation*¹. — L'exploitation des couches est fonction du nombre et de l'épaisseur de celles-ci et une couche n'est pratiquement exploitable que si elle possède 1 à 2 m. de puissance et une certaine étendue en direction. Or, dans les Alpes, la puissance et la continuité d'une couche sont des facteurs essentiellement variables.

Prenons comme exemple le bassin d'Aime, dont on connaît assez bien la structure profonde.

Les couches d'antracite² s'y présentent comme une série de poches séparées par des « serrées » plus ou moins étendues. Elles constituent donc une série de paliers se succédant en « épanouissements » et serrées³ d'allure très variable. L'irrè-

¹ On trouvera sur ce sujet tous les renseignements désirables dans un intéressant travail que vient de publier M. L. Moulinier dans le *Bulletin de la Société scientifique de l'Isère* (t. XLV, 1924) et intitulé : « Les gisements houillers des Alpes françaises ».

² Primitivement régulières (ex. pl. VI, fig. I), mais disloquées par la poussée orogénique.

³ Lesquels correspondraient à peu près aux termes de plateures et dressants des mines du Nord, parfois employés dans nos Alpes.

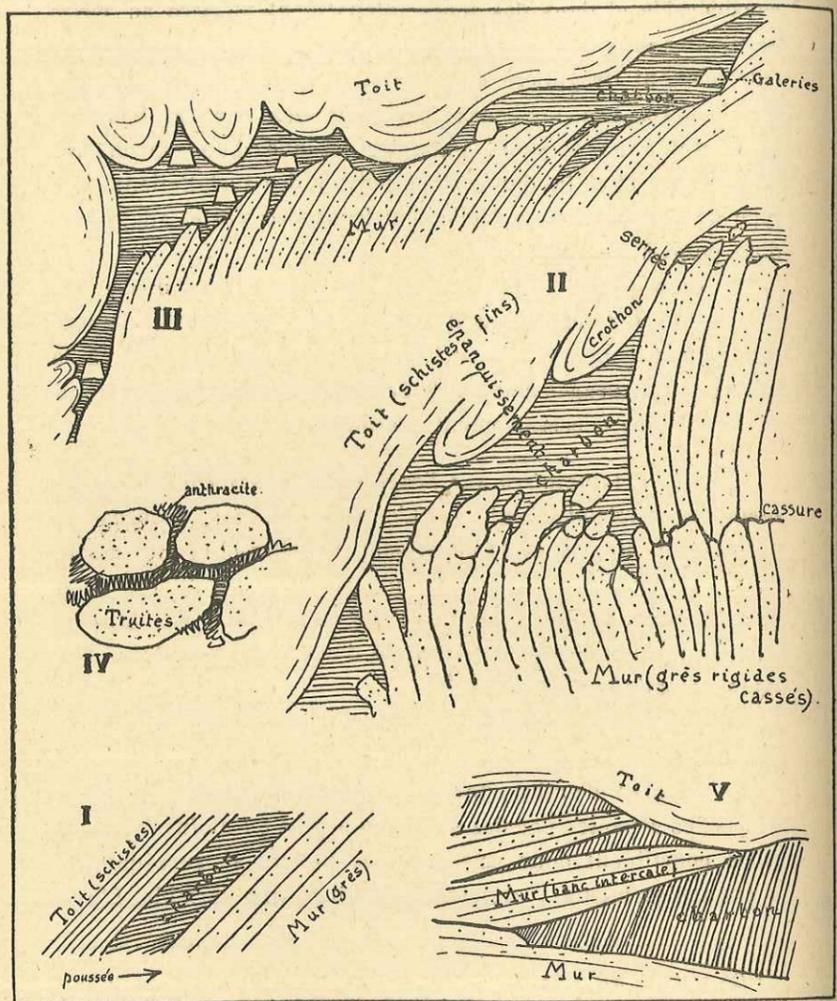


PLANCHE VI.

gularité est donc la règle (pl. VI, fig. II et III); les accidents se modifient continuellement et souvent brusquement, de sorte qu'il est presque impossible de prendre une idée d'une couche. La moyenne des épanouissements est de 3 jusqu'à 10 et même 15 m.; l'amincissement des couches peut aller jusqu'à la serrée complète, aussi la qualité essentielle de l'exploitation devra-t-elle être une souplesse extrême et la possibilité d'une adaptation rapide à des conditions nouvelles de gisement. Dans la région d'Aime, une plateure en épanouissement est généralement exploitée par tranches plates en montant. On remarque sur la figure III que les dressants sont séparés par des cassures; mais, dans la profondeur, ces accidents sont généralement remplacés par des plissements.

Les ingénieurs des mines d'Aime envisagent l'ensemble de l'exploitation de deux façons différentes.

1° On peut d'abord considérer ces successions de poches comme ne présentant entre elles aucune relation. Le charbon aurait été injecté dans un réseau de fissures par des compressions violentes qui auraient également entraîné des blocs de la roche encaissante. Le charbon contenu entre ces blocs ou « truites » (pl. VI, fig. IV) est grenu et semble avoir été coulé dans ces cavités; il y est d'ailleurs parfois intimement mêlé à des débris gréseux. Ces poches ne présenteraient aucune relation avec la position primitive des bancs et l'exploitation devrait se faire, poche par poche, au moyen de travers-bancs successifs et indépendants les uns des autres. De telles poches ou fissures, remplies secondairement de charbon, sont, il est vrai, fréquentes, mais ce n'est pas la généralité et il faudra même se garder de les confondre avec les vraies couches¹.

2° Dans le deuxième cas, on envisage ces amas successifs comme possédant une continuité due au fait qu'ils résulteraient

¹ M. Moulinier en a donné un exemple typique à Sangot (couche Gaide) (*Les gisements houillers des Alpes françaises*).

de l'étiement d'une seule et même couche autrefois régulière.

Cette explication est évidemment la bonne, l'examen géologique de tous les gisements le prouve surabondamment. Non seulement on a pu, dans plusieurs cas, suivre une couche en direction, mais aussi en pendage (ex. : couche n° 5 de Planamont suivie sur 450 m. en direction, 35 m. en pendage). Dans ce cas, on n'a qu'à suivre pas à pas la couche, en évitant toutefois de s'engager dans une fissure remplie de charbon broyé.

Il est difficile d'appliquer ici l'exploitation par travers-bancs qui aurait grande chance de pénétrer de part en part le stérile d'une serrée, et, une fois la couche reconnue, il vaut mieux exploiter en direction.

Il faut aussi se garder de prendre pour des épontes (pl. VI, fig. V) les intercalations d'écailles pierreuses qui se trouvent dans certains amas où elles ont été amenées par le jeu de failles plates et qui peuvent faire croire à leur épuisement; pour vider complètement la poche, il sera nécessaire d'en explorer tous les recoins.

Toutefois, l'application exclusive de l'une ou de l'autre de ces deux méthodes (travers-banc et poursuite en direction) n'est pas à recommander et il sera souvent nécessaire de les combiner. En effet, la continuité des couches n'est pas toujours relativement constatable, ainsi que cela est le fait pour certaines mines des environs d'Aime. Il est le plus souvent illusoire de rechercher la loi qui régit la succession des accidents que subit une couche, à cause de la complexité des plissements qui ont affecté la zone houillère et des différences de nature des terrains qui ont été disloqués par lesdits plissements.

D'autre part, l'exploitation par galerie de direction est très onéreuse du fait de la difficulté d'installation des boisages (charge des terrains disloqués) et aussi du roulage très défectueux qui s'effectue dans ce cas. Il faudra donc recouper de proche en proche la couche par travers-bancs destinés à découper l'exploitation en tronçons que l'on abandonnera successi-

vement¹. On ne gardera alors, comme galerie de roulage principale, que la galerie en direction de l'une des couches, à partir de laquelle on atteindra les autres couches par recoupes. Lorsque des couches intéressantes s'enfoncent profondément dans un massif, il devient difficile et coûteux de tracer des travers-bancs; dès lors, pour les suivre, il est indispensable de tailler une galerie au rocher entre deux couches que l'on exploitera par des recoupes.

L'exploitation en remblai complet s'emploie lorsqu'il existe un village au-dessus de la mine.

b) Usage et avenir des anthracites alpins. — Le combustible qui sort de la mine est le « tout venant ». La plupart des mines des Alpes livrent du tout-venant et du menu. Autrefois, le tout-venant servait aux usages domestiques et aux industries locales (fabrication des fromages, fours à chaux, forges marécales, traitements métallurgiques). Actuellement, et spécialement dans les charbonnages d'Aime, on calibre le tout-venant; pour cela, on le concasse, on le crible et on le classe en quatre espèces dont chacune a son emploi spécial :

1° Calibré œuf : teneur en cendres.....	18 à 22 %
2° Calibré noix : teneur en cendres.....	20 à 23 %
3° Grésil : teneur en cendres.....	23 à 26 %
4° Menu : teneur en cendres.....	19 à 24 %

Le calibre œuf et le calibre noix s'emploient comme combustible dans l'industrie des chaux, ciments, plâtres et dans les gazogènes, ainsi que comme charbons de réduction dans l'électrométallurgie du fer.

¹ M. W. Kilian va même plus loin et admet que les anthracites des Alpes forment des séries d'amas discontinus dans lesquels il est à peu près impossible de reconnaître la continuité des couches primitives et qui doivent être exploités comme les minerais en poches (bauxites, phosphates). Par conséquent, il sera nécessaire de distinguer tout d'abord des zones fertiles et des zones stériles, et, dans les zones productives, de négliger la surface (balancement des couches) pour s'attacher à explorer les parties profondes à l'aide de grandes galeries, ou travers-bancs, destinées à recouper les poches au hasard.

Le grésil constitue un bon combustible pour les chaudières (6.500 à 7.000 cal.); étant dépourvu de soufre, il n'attaque pas les parties métalliques.

Le menu est difficile à écouler; on en fait souvent des agglomérés (boulets d'antracite); il sert dans l'industrie des chaux et ciments. On l'emploie pulvérisé dans certains fours rotatifs et surtout pour la production de vapeur, où la nature infusible de ses cendres est un avantage précieux qui évite l'encrassement des chambres de combustion; enfin, on l'emploie dans la fabrication des creusets de graphite.

Les mines d'antracite de nos Alpes trouvent à écouler leurs produits non seulement en France, mais en Suisse et en Italie¹. Tel n'a pas toujours été le cas.

En effet, en 1861, à la première session du Conseil général de Savoie, l'ingénieur en chef émettait l'avis que ces combustibles n'étaient guère propres qu'à une consommation locale, tout au plus intérieure à la Savoie. Cependant, dès 1864, l'amélioration des mines était telle que les combustibles franchissaient les frontières du département et s'expédiaient dans l'Ain et la Saône-et-Loire. De 1866 à 1870, une étude méthodique des bassins de Maurienne et de Tarentaise mit en évidence les principaux gîtes; mais la création de la gare internationale de Modane favorisa plutôt l'entrée des charbons étrangers et, depuis lors, l'exploitation se fit sans intensité.

Toutes ces causes, jointes à leur difficulté d'exploitation, leur nature généralement pulvérulente, leur teneur parfois élevée en cendres², expliquent dans une certaine mesure que les anthracites intra-alpins n'aient eu qu'une utilisation réduite et localisée.

L'exploitation n'a vraiment repris avec une certaine intensité

¹ A titre d'exemple, voici, pour la mine d'Aime, la répartition de la production en 1922, en tonnes: Rhône, 64; Isère, 3.537; Savoie, 4.682; Haute-Savoie, 1.064; Ain, 1.730; Drôme, 124; Italie, 2.548; Suisse, 2.222; divers, 354.

² Sur laquelle on a d'ailleurs beaucoup exagéré.

que depuis la Grande Guerre, au moment où la destruction systématique des charbonnages du Nord de la France par les Allemands fit porter l'attention sur des gisements considérés jusqu'alors comme négligeables. Mais, de nos jours encore, plusieurs exploitations végètent ou périssent.

Cet état de choses ne saurait durer, car le recul saisissant de la production houillère mondiale, qui, de 1.300 millions de tonnes en 1913, est tombée à 960 millions en 1921, forcera de nouveau l'attention sur les réserves cachées, mais réelles, des Alpes françaises.

Il ne faut pas se faire d'illusions sur les difficultés sans nombre et les déceptions inévitables qui attendent les industriels assez courageux pour s'attaquer à des gisements aussi bouleversés et qui nécessitent l'étude détaillée de chaque concession et la mise en œuvre de méthodes d'exploitation souvent nouvelles, très particulières¹.

En ce qui concerne la nature pulvérulente du charbon, que l'on a taxée pendant longtemps d'inconciliable avec une utilisation industrielle quelconque, des études récentes ont montré que l'emploi des charbons pulvérulents insufflés dans des foyers spéciaux de plus en plus adoptés par l'industrie actuelle et permettant une combustion plus complète, ouvre, ainsi que l'écrivait récemment M. Kilian, des perspectives très encourageantes pour le rendement industriel des anthracites alpins². Des études en cours font même espérer que le remplacement

¹ Il n'est pas inutile de signaler ici les appareils spéciaux, basés sur la grande conductibilité électrique, destinés à prospector les charbons. Voir à ce sujet les notes de C. Schlumberger (*C. R. som. S. géol. France*, 1924, n° 16). L'exploitation rationnelle du bassin houiller intra-alpin nécessitera des études détaillées sur le terrain. Ces études ont été commencées sous la haute direction de M. le professeur W. Kilian, par MM. Moret, Blanchet, Roch. (Cf. *Annales de l'Université de Grenoble*, t. XXXIV, 1923. On trouvera dans cet article une bibliographie assez complète du sujet.)

² Cf. L. Moulinier, Utilisation rationnelle de l'antracite des Alpes (*Bull. Soc. Stat. des Sc. Naturelles et des Arts industriels du département de l'Isère*, 4^e série, t. XV, 1920) et De l'utilisation de l'antracite des Alpes (*Congrès de Liège*, 1922).

du coke par les charbons pulvérisés pourra peut-être être envisagé dans les opérations métallurgiques.

Dans un article récent, M. de Launay indique excellemment que les économies de charbons, qui deviennent nécessaires, sinon indispensables, seront réalisées de la façon suivante :

1° Amélioration des foyers en vue d'une combustion plus parfaite;

2° Distillation des charbons, utilisation des sous-produits (coke, gaz, goudrons);

3° Emploi du charbon pulvérisé permettant une combustion plus complète;

4° Emploi des combustibles inférieurs qui devront être substitués à la houille chaque fois que la chose sera possible.

Les anthracites intra-alpins se prêteront admirablement à l'exécution de la troisième partie de ce programme.

II. — HOUILLE.

Le Jurassique moyen du Chablais (zone préalpine) renferme en certains points des charbons gris que l'on a voulu assimiler à de la houille. Ces gisements, situés à des altitudes élevées, font partie de massifs charriés, sans racines profondes et très disloqués. Ils ne paraissent appelés, en dehors de l'utilisation locale, à aucun avenir.

Citons, pour mémoire, les principaux gisements, qui sont : Bellevaux, Chavan, Château-d'Oche, communes de Novel et Bernex; Darbon, commune de Vacheresse; Taupert, Orlai et Fontaine, commune de La Chapelle (vallée d'Abondance); la Fiogère, commune de Bellevaux.

A Darbon, le gisement est à fleur de terre, la couche paraît avoir 1 m. de puissance. A Vacheresse, les bancs sont inclinés, la couche de charbon varie de 0 m. 18 à 1 m. A La Chapelle, le gisement est à 2000 m. d'altitude sur la montagne du Taupert, la couche possède de 0 m. 15 à 0 m. 45.

Analyse des charbons du Chablais, d'après Mortillet.

	Darbon	Dent d'Oche
Carbone.....	59,30 %.	54,18 %.
Cendres.....	28,40	7,03
Matières volatiles...	12,20	33,65
Eau.....		6,04

Le bon charbon de la couche de Vacheresse est gras et, d'après certaines analyses (Morin), aurait jusqu'à 81,47 % de carbone.

Des concessions ont été demandées à diverses reprises.

III. — LIGNITES.

Les lignites sont des charbons compacts, généralement d'âge tertiaire ou quaternaire, parfois terreux ou ligneux, moins riches en carbone que la houille (55 à 75 % en moyenne), mais contenant davantage de matières goudroneuses et de gaz que l'anthracite.

La Savoie possède de nombreux gisements de lignites, dont les meilleurs sont engagés dans les formations nummulitiques des synclinaux des Bauges et du Genevois (Eocène supérieur, Oligocène). La mollasse (Miocène) en recèle aussi quelques mauvais filonnets ayant motivé des tentatives d'exploitation; nous les appellerons, à la suite des anciens auteurs, « Lignites de la mollasse ».

Enfin, les torrents des périodes interglaciaires ou interstadiques ont parfois provoqué des accumulations importantes de débris ligneux, souvent même d'arbres entiers, et qui, du point de vue industriel, ne sont point à dédaigner complètement : témoins les lignites bien connus de Voglans, près Chambéry (cf. pl. V).

Avant de passer à l'étude rapide des gisements, voyons quelle est l'origine, le mode de formation probable des plus importants de ces combustibles.

A. — Origine des lignites nummulitiques de Savoie.

L'âge de ces lignites est bien connu; presque tous sont éocènes supérieurs (Priabonien) et sont associés aux couches dites à *Cerithium Diaboli* et aux calcaires et grès à petites Nummulites. D'autres sont oligocènes supérieurs et sont liés soit aux grès à végétaux dits « de Bonneville » (Stampien supérieur), soit aux couches à *Helix Ramondi* (Chattien).

En ce qui concerne les lignites priaboniens (Entrevernes, Pernant); leur origine est simple: ce sont des accumulations végétales formées dans les golfes ou les estuaires du continent qui bordait à l'Ouest la mer nummulitique alpine. Le mécanisme de leur formation est donc différent de ceux qui ont présidé à l'élaboration des vraies houilles; il n'y a pas eu ici de « lagune houillère » ni de sols de végétation; ce sont des charbons d'origine *allochtone*.

Représentons-nous rapidement la géographie de l'époque priabonienne: la mer s'étendait largement vers l'Est où ses dépôts sont bien connus, mais leur absence plus à l'Ouest prouve qu'elle n'a pas dépassé la bordure de la zone subalpine de notre région, depuis la vallée du Giffre jusqu'à celle de Chambéry. Ce sont naturellement des dépôts très littoraux: grès, conglomérats, c'est-à-dire l'équivalent consolidé des sables et levées de galets de nos plages actuelles. A l'Ouest, on ne trouve plus de sédiments marins; au Salève, au Semnoz, par exemple, ceux-ci sont remplacés par des formations sableuses très siliceuses, sans fossiles¹, à faciès continental très net. Nous avons donc ainsi la preuve que la limite des terres et des mers était, avant le plissement, située sur l'emplacement actuel de la vallée de Leschaux-les-Déserts et du plateau mollassique

¹ Aux Echelles, cependant, on a trouvé dans des sables analogues une mâchoire de mammifère terrestre éonummulitique (*Lophiodon Lartetii*). Voir le chapitre réservé aux sables réfractaires, p. 138.

qui s'étend au Nord d'Annecy. Le rivage de cette mer n'était pas rectiligne, mais sinueux, coupé de golfes et d'estuaires souvent profonds et envasés, dans lesquels se sont précisément accumulés les boues organiques et les débris végétaux charriés par les fleuves, plus ou moins réduits à l'état de purée et destinés, avec le temps, à se transformer en lignites. Nous avons la démonstration de cette origine estuarienne dans le fait que les faunes de coquilles engagées dans les marnes noires associées aux lignites sont bien des faunes saumâtres vivant actuellement encore dans des conditions biologiques similaires: Cyrenes, Cerithes, Potamides, Melanopsis, etc. D'ailleurs, la comparaison pourra être poussée plus avant puisque les dragages récents pratiqués au large de l'embouchure de certains grands fleuves américains ont permis d'y constater des accumulations considérables de végétaux. Ces accumulations sont naturellement variables avec le régime du fleuve; abondantes aux périodes de crues, elles sont faibles ou même nulles dans les intervalles pendant lesquels se déposent alors des boues terrigènes. Il est certain que les mêmes phénomènes ont dû se passer à l'époque priabonienne où le climat était subtropical, si l'on en croit le témoignage muet des fossiles; ainsi se trouvent expliquées les alternances de charbon et de marnes. En outre, *du fait même de leur origine, ces dépôts de lignite ne pourront être que très restreints et localisés en des points où toutes ces conditions géographiques étaient réalisées*. C'est bien ce qui se présente dans les sédiments nummulitiques où on les trouve en petites lentilles sans aucune continuité forcée les unes avec les autres. Il faudra toujours tenir compte de ce fait au cours des prospections.

B. — Principaux gisements de lignites nummulitiques.

Nous les étudierons successivement du Sud au Nord. Tous sont localisés dans la zone subalpine que nous avons définie plus haut (Bauges, Genevois, Haut Giffre).

a) BAUGES. — 1° *Gisement d'Aillon*. — Mortillet y a signalé des traces de lignite; ne présente pas d'intérêt.

2° *Gisement de Bellecombe*. — Le lignite, d'âge éocène supérieur, y est, d'après Mortillet, identique à celui d'Entrevernes, mais les couches sont plus plissées et le charbon moins puissant (au mas de l'Avalanche). La mine a été concédée en 1825. C'est le pendant de la couche d'Entrevernes, de l'autre côté du synclinal.

Analyse d'après Soburo.

Carbone.....	56,92 %.
Cendres.....	9,57
Eau.....	3,67
Matières volatiles comb..	29,84

3° *Gisement d'Entrevernes*. — C'est incontestablement la mine de lignite la plus importante de toute la région. Après sa découverte, qui date de 1794, elle fut immédiatement exploitée par une fabrique d'armes d'Annecy. Les verreries de la région, la manufacture de coton d'Annecy, les forges de Cran utilisèrent également le charbon qui en était extrait.

L'exploitation fut très activée de 1856 à 1862 et divers propriétaires se succédèrent jusqu'en 1880, époque où la mine fut abandonnée.

Les travaux d'exploitation consistaient alors en galeries de directions (une de ces galeries pénétrait, en 1862, jusqu'à 600 m.) et en puits d'aération.

Récemment (1917), les mines d'Entrevernes, divisées en trois concessions, ont été acquises par la Société Paul Girod et C^{ie}, d'Ugines, et remises en état.

Depuis Dolomieu, qui déclarait qu'il « n'existait point en Europe de mine plus heureusement située », tous les auteurs qui ont traité des ressources minérales de la Savoie sont unanimes à vanter la richesse d'une mine sur l'importance de laquelle on s'est peut-être fait illusion.

Le gisement est situé sur le bord oriental du grand synclinal

d'Entrevernes, synclinal un peu disloqué et déversé vers l'Ouest par endroits, ce qui fait que le Nummulitique y est presque en bancs verticaux, souvent même renversés, ainsi que les lignites qui s'y intercalent; à la mine, les couches plongent de 75° environ à l'Est. D'après M. Lugeon, qui a étudié en détail la région, la coupe est la suivante, sur le flanc Sud du monticule coté 1173 m. : le sommet est formé d'Urgonien renversé sur le Gault et le Sénonien; puis vient le Nummulitique, qui comprend, de bas en haut :

- 1° Calcaires compacts à grandes Nummulites, conglomératiques à la base (Lutétien);
- 2° Banc de marnes saumâtres (début du Priabonien);
- 3° Couche de lignite;
- 4° Calcaire fétide;
- 5° Schistes à écailles de poissons (*Meletta*);
- 6° Grès tendres tongriens du centre du synclinal.

Dans les couches à grandes Nummulites, on récolte *Nummulites Aturicus* et *N. perforatus*. Les marnes saumâtres contiennent de très jolies coquilles bien conservées de *Cyrena convexa*, *Meretrix Villanova*, *Cerithium trochleare* (mut. *Diaboli*), *C. plicatum* (mut. *Alpinum*), *C. elegans*, *Melanopsis fusiformis* et des empreintes de plantes (fougères) assez rares, ainsi que des débris d'ossements (?): c'est ce que les géologues désignent sous l'appellation de *couches à Cerithium Diaboli* (base du Priabonien).

La mine est située sur la rive droite du torrent de la Thuile et au point bas de l'encoche taillée dans la barre urgonienne. Les couches à grandes Nummulites ne sont plus visibles ici et le niveau saumâtre et ses lignites reposent sur le Gault et le Sénonien. La couche principale de lignite présente une puissance de 2 m. à 2 m. 50, pouvant même atteindre, d'après Barbier, 4 m. 50.

Badoureaux donne l'analyse suivante d'un échantillon de lignite d'Entrevernes, d'après Lheureux :

Carbone.....	42 %.
Matières volatiles...	37
Cendres.....	21

Des analyses de deux échantillons, faites à Paris en 1923, ont donné :

Carbone.....	36,38 %.	47,26 %.
Matières volatiles...	35,27	18,24
Cendres.....	28,35	34,50

La couche exploitée offrait, d'après Verneilh, trois qualités différentes de charbon : la première qualité, légère, noire, luisante, brûlait sans résidus (forges); la deuxième, compacte, était utilisée dans les verreries; la troisième, très pyriteuse, servait à alimenter les fours à chaux.

On a étudié ces lignites du point de vue de la distillation; des analyses toutes récentes, faites à Paris, au laboratoire de chauffe rationnelle (four électrique Damour), sur l'initiative de M. Albert Crolard, ont donné les résultats suivants :

1° Distillation à 500° :

Goudrons....	55 kgs.
Benzols.....	2,78
	<hr/>
	57,78

Sulfate d'ammonium : 6,78 par 1.000 kgs de lignites bruts.

2° Distillation à 340° :

Goudrons....	48 kgs.
Benzols.....	2
	<hr/>
	50

Sulfate d'ammonium : 4,05 par 1.000 kgs de lignites bruts.

Pour un lignite contenant près de 40 % de cendres, ces rendements sont très intéressants et l'on est naturellement amené à cette conclusion que l'exploitation en serait rémunératrice. Le problème est donc de savoir si la quantité de charbon en gisement est assez importante pour motiver une exploitation en grand.

Tout d'abord, les mines ont été exploitées de 1794 à 1880 et pendant certaines périodes, d'une façon intense. En 1860, notamment, près de 7.000 tonnes en ont été extraites. En 1862, à la période du maximum d'exploitation de la concession principale, on travaillait nuit et jour, et la production mensuelle atteignait 4 à 5.000 tonnes, ce qui mérita aux exploitants les éloges de l'ingénieur des mines Lachat. Un notable tonnage de lignite a donc disparu de la mine et si, en 1880, l'exploitation s'est arrêtée, le fait de son épuisement, ainsi que la difficulté des travaux et la précarité des communications en sont les raisons essentielles.

L'étude sur le terrain permet de faire les constatations suivantes :

La couche principale peut se suivre au Nord depuis Membert jusqu'à l'ancienne galerie de la Frame située au Sud du puits principal, actuellement noyé (1025 m.). Entre ces deux points, au lieu dit le Bouchet, le filon arrive à l'affleurement et présente une puissance approximative de 0 m. 40. Vers le Sud, les affleurements sont en grande partie masqués par les éboulis; toutefois, signalons qu'à Bellecombe, le lignite existe sur le flanc opposé du synclinal; mais, étant donné le mode de formation de ces lignites, rien ne prouve la continuité de la couche. Il est infiniment plus probable que l'on se trouve, à Entrevernes, en présence d'une lentille un peu plus étendue que les autres. C'est pour la même raison que nous n'affirmerons pas que les indices de lignite signalés autrefois à Duingt sont en continuation avec ceux d'Entrevernes, situés dans le même synclinal, il est vrai, mais bien plus au Sud.

L'altitude élevée de la mine n'est pas prohibitive et un câble met facilement en relation l'exploitation avec le fond de la vallée. Les conditions tectoniques du gisement sont les suivantes : le Nummulitique est très renversé sur le flanc Est ou normal d'un vallon synclinal très resserré. Le refoulement dû aux plissements alpins a provoqué parfois le laminage des couches et la formation de failles normales aux plis (failles

de tassement), très gênantes pour l'exploitation, à cause des rejets qui font disparaître la couche utile.

En outre, il faut aussi noter l'existence ici d'accidents qui se produisent presque toujours sur le flanc normal d'un synclinal étiré et qui sont constitués par des failles parallèles à l'axe des plis. Ces plans de charriage en miniature provoquent le sectionnement en biseau des couches et leur oblitération. Les bancs durs se déplacent les uns par rapport aux autres, tandis que les bancs tendres (ici le charbon) jouent le rôle de lubrifiant.

On ne peut donc rien affirmer sur l'état de la couche d'Entrevernes, ainsi que sur sa continuation en direction et en pendage.

Des considérations précédentes, la conclusion est qu'une remise en exploitation de ces mines ne peut être entreprise que par un groupe financier important, capable de sacrifier peut-être à cette opération un certain capital. Il fallait nettoyer les abords de la mine, déblayer les galeries de direction, vider les puits d'aération noyés et attaquer résolument le gîte par un travers-banc à point d'origine situé sur la paroi orientale de la muraille urgonienne du flanc synclinal qui domine la mine.

Ces travaux ont été entrepris par la Société Paul Girod, d'Ugines, qui a racheté l'exploitation en 1917. Mais on s'est borné à déblayer les galeries du charbon qui les encombraient et à amorcer le travers-banc destiné à recouper la couche, qui n'a pas été poussé à plus de 100-150 mètres environ dans le rocher. Une cantine venait d'être créée pour les ouvriers, un Decauville desservait la principale galerie et l'entrée du travers-banc venait d'être mise en communication avec le hameau de Saury, dans la vallée, par un câble, lorsque les travaux furent arrêtés, le 1^{er} décembre 1920, sans avoir donné aucune indication susceptible d'augmenter l'intérêt de la mine.

Seuls, la pénurie croissante de charbon et le besoin impérieux de combustible liquide, que l'on sait aujourd'hui extraire par distillation des lignites, peuvent un jour imposer la reprise de l'exploitation.

b) GENEVOIS. — 1° *Gisement de l'Arclozan* (massif de la Tournette). — Le vallon d'Arclozan est un synclinal qui prolonge au Sud le synclinal de « Sur les Maisons » ou du Cassey, situé en contre-bas des hauts de la Tournette. Ce synclinal est intéressant parce que le Nummulitique, qui n'affleurerait pas au Cassey, est ici en place avec des lignites. La coupe est la suivante : à partir de l'Urgonien, avec Gault et Sénonien, vient le Priabonien, ainsi constitué, de bas en haut, d'après M. Lugeon :

1° Calcaire noir à *Cardium*;

2° Marnes noires saumâtres, avec couche de lignite très fragile, intercalée, de 0 m. 50 à 0 m. 60, inclinée à 40° Est, très silicifiée; nombreux débris de troncs de végétaux silicifiés;

3° Calcaire à petites Nummulites formant l'escarpement qui domine la mine.

Cette mine fut découverte en 1793; elle est située à une altitude assez élevée (1400 m.) et à 2 h. 30 de marche au-dessus du village de Montmin. Le lignite qu'elle fournissait autrefois était, paraît-il, d'excellente qualité.

En voici l'analyse citée dans Mortillet :

Carbone.....	56,20 %
Cendres.....	10,70
Eau.....	21,10
Matières volatiles...	12,00

Le district d'Annecy, toujours d'après cet auteur, en fit extraire, en 1794, 10.000 quintaux pour une fabrique d'armes, qui, après la découverte des mines plus intéressantes d'Entrevernes, ne tira plus son charbon que de cette dernière mine.

Malgré la nature très favorable du combustible, l'affleurement en est si réduit et les difficultés d'accès si grandes qu'on ne peut fonder aucun espoir sur l'avenir de cette mine.

2° *Gisement de Saint-Ferréol*. — Ce gisement est situé sur le flanc occidental de la grande vallée synclinale de Serraval-Le Reposoir, à La Côte, non loin de Saint-Ferréol.

Les rapports entre le pli d'Arclozan et celui du Reposoir peuvent être expliqués par un pli-faille, ainsi que l'a fait remarquer M. Le Roux. Mais il ne me paraît pas possible d'expliquer de la même façon la continuation de la couche de charbon.

La coupe est, en effet, régulière au début, et, à partir de l'Urgonien, on trouve le Gault et le Sénonien, mais le contact avec le Nummulitique est plus ou moins caché par les éboulis et, à La Côte, le lignite se trouve dans des grès micacés qui, à mon avis, ne sont sans doute pas du même âge que les marnes à lignite d'Arclozan, lesquelles me paraissent plus anciennes.

Ce lignite est compact, brillant, et l'analyse en serait probablement intéressante. Il est douteux qu'il en soit de même en ce qui concerne l'intérêt de la mine elle-même. Les bancs sont subverticaux et s'enfoncent rapidement, l'épaisseur du combustible semble réduite et la continuité en direction et en pendage peut donner lieu aux mêmes remarques que celles qui ont été formulées plus haut à propos d'Entrevernes et de la mine des chalets d'Arclozan.

D'ailleurs, des accidents par faille sont fréquents dans toute cette région orientale du massif de la Tournette, qui a été soumise aux intenses pressions exercées par la masse charriée des Préalpes, dont la montagne de Sulens et celle des Annes, plus au Nord, ne constituent plus de nos jours que des lambeaux (Klippes) isolés par l'érosion. Ce gîte de Saint-Ferréol est donc intéressant pour le géologue, mais négligeable du point de vue industriel.

3° *Gisements du Grand-Bornand et du Petit-Bornand.* — On connaît depuis longtemps des traces de lignites nummulitiques à 2 heures de marche du Grand-Bornand et en contre-bas des chalets Angelloz. Là encore, le lignite est de peu d'importance et la couche est écrasée par la masse charriée du massif des Annes (Lias, Rhétien, Trias sur Nummulitique autochtone). Cette mine a été exploitée vers 1850-56, par le chanoine Angelloz; il en subsiste encore une galerie de 15 m. de long, mais elle n'a pas grand intérêt et je la cite pour mémoire.

Enfin, ajoutons que des lignites ont été également signalés aux environs immédiats de Thônes, où le Nummulitique est très développé, et au-dessus du Petit-Bornand (d'après Alph. Favre).

4° *Gisements de la bordure oligocène du Genevois (Naves, Villaz, Thorens).* — Tous ces lignites sont inclus dans des marnes noires ou des grès fins micacés à végétaux dits « Grès de Bonneville », parce qu'ils ont fourni près de cette localité des empreintes végétales bien conservées, qui ont permis, en 1905, à MM. Douxami et Deschamps d'en fixer l'âge approximatif Tongrien supérieur¹. L'étude microscopique des grès y a montré des Foraminifères marins et l'on y a, d'autre part, trouvé de petites coquilles marines (Corbules). Le mode de formation de ces lignites est donc analogue à celui des lignites priaboniens. Mais, au Tongrien supérieur, les Alpes étant en partie exondées, la sédimentation était plus détritique dans la bande marine qui longeait la chaîne. Les végétaux découverts dans ces grès sont des Canneliers, des Palmiers, des Ciriers, c'est-à-dire des plantes vivant actuellement sous la latitude des Antilles et par une température moyenne de 25°.

La structure de cette bande oligocène peut bien s'étudier dans la partie Nord de la montagne de Veyrier, le long du Fier et de la route de Dingy. Tous les plis crétacés du Veyrier s'ennoient plus ou moins en ce point et peuvent se déceler dans la couverture tertiaire qui présente donc une série de petits anticlinaux et synclinaux successifs très doux.

Les premiers affleurements de lignites se rencontrent au Pont-de-Naves, dans des grès fins micacés ployés en une petite voûte qui correspond à l'anticlinal du Mont Rampon (pli I du Veyrier). En suivant les plis vers le Nord, on trouve quelques filonnets très minces à Moirans, Villaz, Crêt-Lambert, au Nord-

¹ Le Tongrien inférieur, plaqué contre les chaînes subalpines, n'a jamais fourni de lignite, à ma connaissance du moins ?



Ouest d'Aviernoz, chez Gorez, le long de la route qui, du Plot, conduit à Thorens; en ce point, on observe quelques filons d'un assez bon lignite qui forment relief dans des marnes bleues, tendres, mais trop petits pour être exploités. Enfin, à Thorens même, nous sommes toujours sur l'axe d'une crête qui correspond à l'anticlinal du Mont Rampon. La couche de lignite y a pris une ampleur suffisante pour motiver autrefois une exploitation, au Crêt de Lebas, à 200 m. au Nord du bourg. Cette mine avait été aménagée en galeries et puits, puis abandonnée, comme l'ont été toutes ces exploitations locales, après épuisement de la lentille charbonneuse principale, dont l'épaisseur atteignait à peine 0 m. 20. Actuellement, la galerie d'accès est comblée à une distance de 15-20 m. par l'effondrement du plafond. On peut toutefois y relever encore la coupe suivante, de bas en haut :

- 1° Grès micacés à nodules pyriteux;
- 2° Couche de lignite de 0 m. 30 environ;
- 3° Alternances de grès micacés en petites dalles et de marnes bleues à empreintes végétales (*Aspidium Dalmaticum*, *A. ligniticum*, *Arundo Goeperti*, *Cinnamomum sp.*, etc.);
- 4° Grès micacés en bancs plus gros à traces végétales.

Au cas d'une reprise de l'exploitation, il faudrait déblayer tout d'abord la galerie d'accès, repérer la couche et la suivre en direction et en remontant, pour permettre l'évacuation des eaux. Un travers-banc d'exploration pourrait être tracé à quelque distance au Nord-Est de la mine.

Les affleurements nummulitiques de Thorens se poursuivent au Nord par Saint-Pierre-de-Rumilly, Saint-Laurent, jusqu'à Bonneville, où ils sont chevauchés par les Préalpes (Môle, collines du Faucigny). Aux Contamines et à Marignier, le long de la bande qui sert de socle aux Préalpes, on a autrefois découvert quelques nids de lignite qui ont donné lieu à des recherches.

5° *Gisement de Pernant.* — Cette mine est marquée sur la

carte d'Etat-Major; elle est située au Sud d'Araches et dans la partie supérieure du ravin de la Colonnaz, à 1228 m. d'altitude.

Sa célébrité date de 1756, époque à laquelle elle fut mise en exploitation par l'amie de Rousseau, M^{me} de Warens, associée pour la circonstance à M^{me} de Bellegarde des Marches. Puis la mine fut abandonnée en 1841, après avoir passé par les mains de plusieurs propriétaires, dont Albanis de Beaumont et l'Anglais Glower, qui ne surent ou ne purent en tirer aucun parti. Actuellement, l'entrée de la galerie principale est murée, de sorte que je n'ai pu l'explorer.

D'après Mortillet, la couche principale avait 0 m. 65 à 0 m. 70 de puissance et était intercalée dans des marnes sombres à fossiles saumâtres (Cerithes, Cyrènes), en admirable état de conservation et qui sont répandus dans toutes les collections locales (couches à *Cerithium Diaboli*). Mais la nature trop friable du lignite, l'altitude élevée de la mine et l'absence de voies de communication rendirent, à l'époque, l'exploitation difficile. Il ne paraît pas probable qu'elle doive tenter, avant longtemps, l'initiative des particuliers.

Au Nord-Est d'Araches, et sur le prolongement de la même zone, se trouve la localité de Samoëns, dans la vallée du Giffre, où Mortillet signale des lignites que je n'ai pu retrouver.

C. — Lignites de la molasse.

Nous désignerons sous cette expression les lignites associés aux assises de l'Oligocène tout à fait supérieur (Chattien = couches à *Helix Ramondi*) qui, dans la région, est lacustre ou faiblement saumâtre, ou de la vraie molasse aquitaniennne entièrement lacustre, ou même de la molasse marine (Burdigalien). Ce sont de mauvais lignites, généralement formés de petits filonnets inexploitablement en Savoie. Au même niveau se trouvent les affleurements du canton de Vaud, dont les lignites étaient autrefois très estimés et activement exploités.

Citons pour mémoire les localités suivantes, où on en a signalé

des affleurements : Bissy, Cognin, Entremont, Yenne, Vimines, Saint-Sulpice, etc., pour la Savoie; Chavanod, Lovagny, Moyes, Saint-André-de-Rumilly, Massingy, Francens, Chaumont, Saint-Eustache-en-Bauges, etc., pour la Haute-Savoie.

Le gisement de Lovagny est intéressant parce que les petits filonnets de lignite sont intercalés dans des marnes bleues très pyriteuses, associées à des bancs de calcaires chattiens, à *Helix Ramondi* typiques. L'affleurement se trouve immédiatement à l'aval des gorges du Fier.

D. — Lignites du Quaternaire.

Ce sont des formations d'accumulations torrentielles effectuées au cours de la période glaciaire, durant les phases interglaciaires ou interstadias, pendant lesquelles la végétation avait repris possession de la région. Le gisement le plus connu est celui de Voglans, sur lequel on a, géologiquement parlant, versé beaucoup d'ener. Plus récemment, on a découvert, au Sud du lac d'Annecy, au lieu dit « Bout du Lac », des lignites, probablement interstadias, assez intéressants, et dont nous parlerons avec quelques détails.

1° *Gisements de la vallée de Chambéry (Voglans, Sonnaz...)*. — Les lignites sont ensevelis sous les alluvions glaciaires et les moraines de la colline (terrasses) de Voglans à l'Est, de La Motte-Servolex à l'Ouest. L'extension des amas est assez considérable et l'exploitation n'a presque pas cessé depuis 1783. Les principaux gisements sont : Voglans-Sonnaz, Saint-Innocent, à l'Est; La Motte-Servolex, Tremblay, Chévrier, Emoutières, à l'Ouest. Les affleurements de Voglans sont les plus remarquables; en particulier, la mine de la Creuse, qui est actuellement en exploitation, permet de se rendre compte de la constitution géologique du sous-sol. La couche horizontale de lignite, dont l'épaisseur varie de 1 à 4 m. (exactement, il y a deux couches séparées par 0 m. 30 d'argile), a pour mur des argiles glaciaires

à blocs alpins et pour toit des alluvions anciennes interglaciaires, un lit de poudingues et enfin des moraines. Le lignite date donc nettement ici d'une phase interglaciaire (Würm-Néowürm) pendant laquelle des bois flottés se sont accumulés dans une anse de fleuve ou de lac.

A La Motte-Servolex, les conditions de gisement sont analogues; on retrouve même les deux couches ligniteuses (d'une épaisseur totale de 1 m. 60), séparées, comme à Voglans, par 0 m. 30 d'argile.

Le lignite consiste en troncs d'arbres empilés, très aplatis (surtout du bouleau) et emballés dans une matière tourbeuse. C'est un combustible difficile à allumer et qu'il faut mêler à un charbon très flambant; néanmoins, on en a consommé beaucoup dans la région pendant la guerre. La mine de la Creuse est actuellement en exploitation. Les concessions de La Motte-Servolex, qui renferment cependant un lignite de meilleure qualité, à cause de l'abondance des débris ligneux (valeur calorifique : 8.172), sont abandonnées momentanément.

Analyse d'un lignite de première qualité de la mine de la Creuse (d'après Badoureau).

Carbone.....	30 %.
Matières volatiles...	45,60
Cendres siliceuses...	8,80
Eau.....	15,60

Suivant la qualité, on s'en sert pour l'usage des foyers domestiques, pour les chaudières d'usines; broyé, on en fait des agglomérés (grâce au silicate de sodium).

En 1892, on a extrait de cette mine 19.700 tonnes de combustible. Il est à souhaiter que l'on reprenne les essais de M. Heim, qui, en 1902, distillait les lignites pour en extraire le sulfate d'ammonium, l'acool méthylique, le goudron et le coke.

2° *Gisements de Lathuille (extrémité Sud du lac d'Annecy)*. — Le lignite est, comme à Voglans, intercalé entre deux amas morainiques. Les gisements reconnus et qui sont situés au « Bout du Lac », à Lathuille (hameau de Chevilly), à Bredannaz,

sont constitués par des alternances de marnes, de sables, de graviers, avec très minces bancs de lignites.

La coupe la plus intéressante est celle du ruisseau de Marceau, à Chevilly, où l'on voit nettement les lignites intercalés entre deux masses de glaises glaciaires compactes.

Au Bout-du-Lac, à Lathuille, des sondages exécutés pour la recherche des couches repérées dans les environs ont montré, de bas en haut :

- 1° Moraine de fond, dure, compacte, avec cailloux;
- 2° Marnes ou argiles jaunâtres, avec cailloux roulés, avec quelques lits ligniteux;
- 3° Moraines très caractéristiques (Néowürmien).

Les argiles jaunâtres et leurs lignites intercalés résultent donc soit d'accumulations végétales locales dues au régime hydrographique de ces lointaines époques, soit de l'enfouissement, par une nouvelle avancée des glaciers, de forêts d'*Epicea* installées sur la moraine déposée par le glacier précédent. Et, dans tous les cas, ces accumulations se sont produites pendant une oscillation, un recul assez important du front glaciaire pour permettre à une végétation subalpine de s'installer. Elles sont donc interglaciaires, ou plus vraisemblablement interstadiaires.

Ces lignites forment quelques lentilles peu épaisses (15 à 20 cm. au maximum), presque uniquement constituées de débris ligneux et d'aiguilles d'*Epicea* et de mousses. Un cône d'*Epicea* en assez bon état et provenant de Chevilly est conservé au musée d'Annecy.

Une analyse des lignites du Bout-du-Lac, dont M. Albert Crolard a bien voulu nous communiquer les résultats, a été faite en 1920, à Paris, au laboratoire de la Tourbe du Ministère de la reconstitution industrielle. L'échantillon analysé consistait en un fragment de bois compact et relativement bien humifié :

Humidité à 20°-100° C.....	17 %.
Cendres à 90° C.....	7
Mat. volatiles (eau, goudron, gaz).	60
Coke brut.....	40

Carbone fixe.....	33 %.
Azote.....	2,4
Pouvoir calorifique : 5.200 calories.	

Si ces lignites du Bout du Lac sont intéressants du point de vue géologique, il est bon de reconnaître que le rendement d'une exploitation de ces couches serait à peu près nul.

3° Indices aux environs d'Annecy. — Des tranchées creusées en 1912 pour les égouts ont mis à découvert, à 10 mètres de profondeur, et dans une marne jaunâtre, une couche tourbeuse de 0 m. 05 à 0 m. 10 d'épaisseur. La marne stérile contenait des végétaux bien conservés et quelques Limnées.

Quant à la couche noire tourbeuse, elle se présentait comme un feutrage de débris végétaux : feuilles, tiges, graines (surtout monocotylédones), des mousses, des élytres d'insectes. On y a recueilli une corne de cerf et, dans les parties tout à fait supérieures de la glaise encaissante, des poteries sigillées de l'époque gallo-romaine. Le lit tourbeux semble indiquer les abords marécageux (présence de plantes aquatiques et de Limnées) d'un ancien golfe du lac d'Annecy. On s'est servi, pendant quelque temps, de cette tourbe comme d'un combustible.

Les talus morainiques du Fier, aux Iles, montrent quelques intercalations de petits lits charbonneux sans intérêt.

E. — Usages des lignites de Savoie.

On s'en est servi pendant longtemps comme de simples combustibles et pour les usages domestiques ou de l'industrie locale. On peut se demander s'il ne serait pas plus intéressant de les soumettre à la distillation à basse température, pour en extraire le goudron primaire, source de combustibles liquides.

A part l'anthracite et le graphite, tous les autres combustibles minéraux solides (houille, lignite) peuvent être distillés; à 1.000°, on en retire ainsi trois corps principaux : le gaz, le goudron, le coke. Or, le gaz et le coke ont une utilisation immédiate. Il n'en est pas de même du goudron qui fut longtemps sans appli-

cation. De nos jours, on sait qu'en distillant ce goudron, on en retire du benzol (pouvant être employé pour les moteurs d'automobiles), de l'huile lourde (remplace le mazout dans la chauffe des chaudières, alimentation de moteurs à combustion interne), de la naphthaline, du brai. Si la distillation du lignite se fait à basse température, au-dessous de 500°, on obtient ce que l'on a appelé du goudron primaire, lequel est riche en hydrocarbures de la série grasse, analogues à ceux qui constituent les pétroles. Les recherches sur les goudrons primaires, dans le but d'en retirer du pétrole, se sont surtout intensifiées en Allemagne pendant la guerre, au moment où le blocus réduisit à néant les importations. C'est dans ce but que tous les lignites de l'Allemagne furent remis en exploitation, et c'est également de ce point de vue que devraient être étudiés les lignites de notre pays.

Des essais pourraient y être entrepris; en particulier, ces méthodes, adaptées à certains de nos lignites de Savoie, pourraient peut-être donner des résultats avantageux. Mais, une fois encore, rappelons que tout cela est subordonné au problème du tonnage des lignites, lequel ne nous est pas apparu comme très brillant.

Citons enfin, parmi les usages éventuels des lignites, l'utilisation de la cendre comme engrais. On consultera à ce sujet un article original intéressant de L.-J. Marin, dans les *Annales* de la Chambre royale d'agriculture, de commerce, de Savoie¹. La luzerne, les pommes de terre, le maïs, plantés sur des cendres de lignite, donnent un produit double de celui obtenu sur les terres avoisinantes non amendées et de qualité excellente.

IV. — TOURBIÈRES.

La tourbe est un combustible végétal médiocre, incomplètement formé, et qui prend naissance sous nos yeux; il constitue un stade dans la genèse de la houille, le stade de tourbifi-

¹ Tome II, Chambéry, 1844.

cation, et c'est à ce titre que nous le classons parmi les combustibles minéraux.

Les tourbières sont fréquemment développées dans nos régions, sur les fonds marécageux colmatés par les boues glaciaires. Aussi, les trouvera-t-on de préférence dans les plaines, au débouché des grandes dépressions (environs d'Annecy, Chautagne), ou dans les larges vallées intra-alpines (Maurienne, Tarentaise, Mont Cenis, etc.).

Les tourbières d'Epagny et de Poisy, non loin d'Annecy, ont été très longuement exploitées autrefois, mais sont actuellement abandonnées. Il en est de même pour celles de la Chautagne, à l'aval du lac du Bourget.

Les tourbières des Gets sont seules exploitées en grand; elles ont fourni, en 1921, 25 tonnes vendues sur place 50 francs la tonne, et 15 tonnes seulement en 1922. Celles des hauts plateaux de Valmeinier sont exploitées localement, mais d'une façon insignifiante.

On en trouve encore dans la plaine de Bissorte et près de Valloires en Maurienne, à Saint-Martin-de-Belleville en Tarentaise, dans les environs de Novalaise et près du col de la Crusille, enfin dans le Chablais, au lieu dit les Mouilles, non loin de Bellevaux. D'après Barbier, la superficie des tourbières de Savoie est de 572 hectares sur une épaisseur de 2 m. 50 à 0 m. 20; celle des tourbières de Haute-Savoie n'est que de 202 hectares, mais l'épaisseur atteint ici 2 m. 50 à 5 m. Malgré cela, la tourbe est un si mauvais combustible que l'utilisation des tourbières ne peut être pour le moment que très restreinte. Il faudrait lui découvrir d'autres usages.

V. — ETAT ACTUEL DES MINES DE CHARBON DE SAVOIE.

En Haute-Savoie, la mine d'anthracite du Coupeau (près Chamonix) est exploitée; la mine de lignites d'Entrevernes a été arrêtée le 1^{er} décembre 1920, mais il est question de la remettre en activité.

Le département de la Savoie est infiniment plus riche en combustibles minéraux. En effet, d'après le Service des Mines, 18 concessions d'anhracite sur 43 sont exploitées, la superficie totale des concessions étant de 11.111 hectares. Par contre, sur 7 concessions de lignite d'une superficie totale de 1.106 hectares, une seule est exploitée, celle de la Creuse (Société des mines et agglomérés de Voglans).

Les 16 concessions d'anhracite en activité en 1923 sont : Côte-Velin, Saussaz-Châtelard, Beaurevard, Sordières, Etarpey, Valmeinier, en Maurienne; Planamont, Lequenay, La Thuille, Réel, Montchavin, Sangot, La Chênaie, Montgirod, Pierre-Becqua, Sérachaux, en Tarentaise.

Les deux concessions de La Planta (Société minière des Alpes) et de Corbières (Société des charbonnages de Tarentaise), exploitées en 1922, sont actuellement inactives.

La production des anhracites de Savoie est en progression; en 1923, elle atteignait presque le quadruple de celle d'avant-guerre, et si elle n'a pas été plus forte, la faute en est au manque de main-d'œuvre. 30 % de cette production ont été expédiés dans l'Isère, 15 % dans la Savoie, 12 % dans l'Ain, 8 % dans le Rhône, 5 % dans les Bouches-du-Rhône, 3 % en Haute-Savoie, 2 % dans la Drôme. Des expéditions ont même été faites en Dordogne et dans le Pas-de-Calais; 12 % sont allés en Italie et en Suisse.

C'est surtout l'industrie des chaux et ciments (fours droits et fours rotatifs) qui absorbe la plus grande partie (65 %) de cette production globale.

De 1913 à 1923, la production (anhracite, lignite) a été la suivante (Rapport du Service des Mines pour 1923) :

1913.....	20.500	1919.....	93.565
1915.....	18.257	1920.....	132.126
1916.....	29.017	1921.....	51.931
1917.....	83.247	1922.....	52.642
1918.....	117.623	1923.....	77.674

Sur le total des deux dernières années, le plus gros contingent

pour l'anhracite a été fourni par la Société des mines d'Aime (14.845 tonnes en 1922, 22.889 tonnes en 1923).

La Société des mines et agglomérés de Voglans (lignite) a atteint 4.832 tonnes en 1923 et c'est la seule concession de lignite exploitée. Voici d'ailleurs le détail des résultats comparés obtenus en 1922 et 1923 :

I. SAVOIE :	Exploitants	Production (en tonnes)			
		1922	1923		
a) Anhracite :					
	Société des mines d'Aime	14.845	22.883		
	Charbonnages de Tarentaise et Haute-Isère	1.154	4.060		
	Société minière des Alpes	5.679	8.241		
	Société des mines de Montgirod	8.665	12.406		
	Société d'électrochimie de Bozel	2.187	2.274		
	Commune de Saint-Martin-de-Belleville	250	250		
	Commune de Thyl	171	147		
	Société des mines et usines de Saint-Michel et Sordières	6.913	6.394		
	Compagnie des mines de Maurienne	3.921	6.388		
	Société des produits chimiques et de charbonnages	798	9.249		
	Capitole, à Modane	577	392		
	Divers (concession en état de recherche ou d'installation)	1.131	198		
	Totaux	46.291	72.882		
b) Lignite :					
	Société des mines et agglomérés de Voglans	6.351	4.832		
	Totaux généraux ..	52.642	77.714		
II. HAUTE-SAVOIE :					
	Anthracite :	1919	1920	1921	1922
	Concession du Coupeau	2.547 t.	3.032 t.	861 t.	557 t.

CHAPITRE III

Minerais métalliques.

Les minerais de Savoie sont engagés dans la zone cristalline (filons métalliques) et dans la zone subalpine (fers sédimentaires).

En matière de filons métalliques, on peut dire que l'on trouve en Savoie « un peu de tout et de tout un peu »; les indices de minéralisation y sont nombreux et variés, mais les amas importants et susceptibles d'une exploitation fructueuse, rares ou épuisés !

Il est bon de se bien pénétrer de ces idées au début d'une enquête sur les richesses minérales de notre petit pays.

Actuellement, d'ailleurs, l'exploitation des mines métalliques est des plus réduites; elle se borne, pour les deux départements, aux mines de plomb argentifère de la Plagne et à la concession des Fosses¹.

On se rappelle que la chaîne des Alpes a été intensément plissée et disloquée vers la fin du Tertiaire; c'est également à cette époque, et comme accompagnement naturel de ces phénomènes orogéniques puissants, que se sont produites les injec-

¹ Mais il n'en a pas toujours été ainsi; la production était, en effet, si importante en Tarentaise, aux premiers temps du dernier siècle, qu'elle a pu justifier la création par la République Française, le 23 pluviôse an X (1802), de la fameuse Ecole pratique des mines de Peisey. Cette école eut bien des vicissitudes et ne dura que quelques années, pendant lesquelles elle fut cependant illustrée par des professeurs éminents; tout le matériel, bibliothèque et collections, fut finalement transféré à Turin; la France institua, pour la remplacer, l'Ecole des Mines de Saint-Etienne, qui reste la grande école scientifique du Sud-Est.

tions métalliques consolidées par la suite en filons à remplissage complexe. Ces filons, où dominant, suivant les points, pyrites, galènes, blendes, ont recoupé plusieurs terrains, parmi lesquels le Houiller et le Trias sont les plus fréquemment minéralisés; parfois, le Jurassique inférieur lui-même est atteint, comme à la mine de blende et de galène de la « Tanière à l'Ours », dans le massif du Rocheray.

La zone métallogénique savoisiennne qui renferme ces minerais constitue ce que M. de Launay a appelé la zone des filons sulfurés plombo-zincifères; elle passe par la Maurienne, la Tarentaise et le massif du Mont-Blanc; mais elle se continue au delà de notre province par les mines du Dauphiné: Allevard, Chalanches, la Gardette et le Pelvoux; c'est une zone uniquement française. Il faut y rattacher, vers l'Est, les deux gîtes classiques de Peisey et de Macot, situés en pleine zone du Briançonnais.

La deuxième zone métallogénique alpine qui lui succède vers l'Est est la zone dite des roches vertes, avec faciès métamorphiques; c'est une zone surtout italienne; elle empiète un peu sur la Savoie avec les schistes lustrés, mais n'y présente rien d'intéressant à retenir.

La plupart des mines que nous allons étudier ou citer font donc partie de la première zone.

Mais, à côté de ces gîtes filoniens et d'origine profonde, il faut faire une place, bien réduite il est vrai, aux gisements d'origine purement sédimentaire, tels que les fers colithiques de Chanaz et les chamosites des chalets de Borey, dans le massif du haut Giffre.

A. — Gîtes sédimentaires de la zone subalpine.

Le terrain *Callovien* (avec ses trois zones: Z. à *Macrocephalites macrocephalus*, Z. à *Reineckeia anceps*, Z. à *Peltoceras athleta*) est réduit, entre Chanaz et Lucey, où il affleure le long du Rhône, à une mince bande de calcaire à oolithes ferrugineuses et très riche en fossiles. Cette bande, de direction Nord-

Sud et de pendage approximatif 50° Est, est plus étendue qu'on ne le pensait; elle était autrefois exploitée et donnait un minerai pauvre employé aux mines de Cran comme fondant (Mortillet, Barbier) et mélangé aux fers hydroxydés et siliceux de Saint-Jorioz, Cuvat, Cruseilles. A lui seul, le minerai donnait de 15 à 18 % de fonte. On trouve également des fers oolithiques pauvres au col du Mont du Chat, à Saint-Jean-de-Chevelu. Pratiquement, il n'offre donc que peu d'intérêt. Cependant, M. Cayeux, au cours de ses recherches sur la genèse des minerais de fer sédimentaires, a été amené à les étudier. Dans son livre sur les minerais de fer sédimentaires de France, paru en 1922¹, ce savant donne quelques indications sur la microstructure de cette roche du Mont du Chat et qui ne sont pas sans présenter quelque intérêt théorique pour nous. Ce savant déclare que les minerais de la Dent du Chat se sont révélés comme des plus instructifs et qu'il y a retrouvé « la presque totalité des faits nouveaux rassemblés dans (son) travail : oolithes originellement calcaires, puis chloritisées et hématisées, évolution minéralogique très rapide, consolidation immédiate, démantèlement et remaniement du minerai en voie de formation... ». Les matériaux remaniés sont ici, comme en bien des cas, plus riches que la roche qui les englobe aujourd'hui, à cause de la juxtaposition des oolithes ferrugineuses. « A cet égard, ajoute M. Cayeux, aucun autre minerai n'est comparable à l'oolithe ferrugineuse de la Dent du Chat. »

C'est encore dans des terrains de même âge que se rencontrent les minerais de fer oolithique (chamosite) du massif du Haut Giffre; ceux-ci se présentent en petits bancs intercalés dans des schistes callovo-oxfordiens de la base du Mont Roan, à la Joux, au-dessus des chalets de Borey² (mines du Bourjal, étu-

¹ Les minerais de fer oolithiques de France, fasc. II, Minerais de fer secondaires (*Etude des gîtes minéraux de la France*, Paris, Imprimerie Nationale, 1922).

² Dans des minerais analogues, Renevier a trouvé, sur la rive droite du Rhône, *Belemnites calloviensis*, *Reineckeia anceps*, du Callovien; il est permis

diées déjà par Albanis Beaumont). Ces minerais, connus depuis très longtemps, et aluminatés au dire de Mortillet, ont été exploités; mais leur traitement au haut-fourneau était très pénible: ils donnaient 35 % de fonte.

Au microscope, le minerai se montre (d'après L. Cayeux, cité par L. W. Collet, *loc. cit.*, p. 438) comme un calcaire à oolithes en chamosite avec nombreux débris d'Echinodermes; les oolithes sont pressées les unes contre les autres ou étirées en certains points, et alors les plaques d'Echinodermes sont plus rares. Le ciment est formé de sidérose grenue et en rhomboèdres, souvent transformée en limonite empiétant parfois sur les oolithes. Cette roche est toujours plus ou moins pyriteuse.

Enfin, le long du bord oriental de la montagne de la Balme et du Salève, à Ferrières, Cuvat, Cruseilles, Vovray, existaient autrefois, dans les calcaires urgoniens, des poches d'une limonite assez riche (jusqu'à 25 % de fer à Cruseilles). Des poches de même nature, mais moins riches, ont été exploitées dans les environs d'Annecy, à Saint-Jorioz, à Duingt, à Seitenex, à la Sambuy. Toutes ces manifestations ferrugineuses datent de la grande période continentale qui, aux premiers temps de l'Eocène, a été marquée par la décalcification intense des calcaires crétacés et l'accumulation dans les fentes des résidus silico-ferrugineux. Ces poches sont actuellement vidées et je ne les cite ici que parce qu'elles ont fourni, en leur temps, des quantités importantes de minerai aux usines de Cran. D'après Mortillet, la seule mine de Cuvat, où travaillaient 115 ouvriers, aurait extrait, en 1855, 1.800.000 kilos de minerai.

B. — Gîtes métallifères de la zone cristalline et de sa couverture sédimentaire et de la zone du Briançonnais.

Les métaux que l'on y trouve sont, par ordre d'importance: le cuivre, le fer, le plomb, l'argent (toujours associé au plomb

de supposer qu'ils sont aussi Calloviens en Haute-Savoie. (Cf. L.-W. Collet, *Hautes-Alpes calcaires entre Arve et Giffre*, p. 438.)

et au cuivre gris), le zinc, l'antimoine, le bismuth, le cobalt, l'arsenic, le manganèse, le titane. Les minerais forment soit de vrais filons (remplissage de fissures), soit des filons-couches (amas parallèles à la direction des gneiss ou des schistes). Nous allons les passer successivement en revue en insistant seulement sur les gîtes qui nous paraissent intéressants, tant par la richesse du minerai lui-même que par les résultats obtenus par les exploitants.

1° CUIVRE. — C'est dans le *massif de Beaufort* (du Grand-Mont au lac de la Giroffe) que se trouvent les gîtes intéressants du Grand-Mont et d'Hauteluze, cités par Mortillet. Ils sont formés par des filons de quartz plus ou moins minéralisés qui recourent les schistes cristallins; près du sommet du Grand-Mont se trouve un filon de cuivre pyriteux de 1 à 2 m. de puissance et un filon de cuivre gris argentifère de près de 0 m. 50. D'après le même auteur, au Sud-Ouest du rocher des Enclaves (vallée d'Hauteluze), existe un beau filon de pyrite de cuivre. M. Révil a signalé, toujours dans la région de Beaufort, près des chalets d'Oustry et dans le vallon du « Plon de Sééz », des filons de quartz associés à des pyrites cuivreuses et ferrugineuses et à des galènes argentifères. Des prospections serrées s'imposent pour reconnaître la valeur en direction de ces filons situés, d'autre part, à des altitudes un peu trop élevées.

Aux environs de La Rochette, il faut signaler le *gisement de Presles*, qui fut exploité très sérieusement dans la première moitié du siècle dernier, puis abandonné. On suivait alors trois filons, qui, d'après M. Révil, ne seraient pas épuisés et seraient même accompagnés d'autres petits filons. Ces filons sont enclavés dans les schistes sériciteux (schistes X du 80.000^e géologique) et ont en moyenne 0 m. 10 d'épaisseur; certains échantillons contenaient jusqu'à 36 % de cuivre, avec 0,0033 d'argent et des traces d'or.

Des cuivres pyriteux se trouvent encore sur le territoire de la commune du Bourget-en-Huile.

La concession des Fosses, la seule exploitée de nos jours, a obtenu, après traitement, environ 295 tonnes de minerai de cuivre (5 % de Cu, 86 francs la tonne) et 218 tonnes de galène (33 % de Pb, 380 grammes d'Ag, 470 francs la tonne), mais les travaux ont été surtout dirigés en vue de l'exploitation normale de la mine.

En *Haute-Maurienne*, le cuivre a été signalé et même exploité à Modane, Termignon, Lanslebourg, Bessans, Bonneval. Mais ces gîtes sont de peu d'intérêt.

En Tarentaise, citons pour mémoire les cuivres gris argentifères associés à la blende et à la galène de Feissons, Dovey, Granier, Mont Valezan, Bourg-Saint-Maurice, etc...

2° FER. — Les minerais les plus importants sont les fers carbonatés ou sphatiques (Sidérose); le fer ooligiste existe aussi, mais il ne se présente pas dans des conditions d'exploitabilité aussi avantageuses.

On trouve des *fers sphatiques* en petites écailles blondes dans toute la chaîne de Belledonne et notamment dans les schistes cristallins de Saint-Georges-des-Hurtières, Arvillard, Aiguebelle, Saint-Alban-des-Hurtières, Montgilbert, Saint-Hugon, etc. Tous ces gisements prolongent ceux groupés plus au Sud-Ouest aux environs d'Allevard¹.

La mine la plus intéressante est celle de *Saint-Georges-des-Hurtières*, dont l'exploitation est très ancienne. La Société Schneider et C^o, qui l'a exploitée de 1878 à 1884, en a retiré en une année (1881), d'après Badoureau, plus de 45.007 tonnes de minerai, mais elle est arrêtée depuis 1898. Ce gisement suit à peu près la direction Nord-Est-Sud-Ouest des schistes cristallins, depuis Montgilbert et Saint-Georges jusqu'à Allevard, en passant par la vallée des Huiles et celle de Saint-Hugon.

¹ Ces sidéroses, ainsi que les cuivres gris qui les accompagnent, sont dus à l'altération superficielle des pyrites cuivreuses.

La mine autrefois exploitée comprenait plusieurs filons de 2 à 12 m. de puissance dans les fractures des schistes cristallins; on en extrayait un minerai blond, contenant des traces de platine et de manganèse et donnant à cause de cela des fers de qualité supérieure (Gueymard). Barbier, qui est très optimiste, prétend qu'il « resterait à Saint-Georges assez de ressources pour alimenter pendant des siècles encore l'industrie sidérurgique du département ». Mais, à ce moment, le procédé Thomas pour traiter les minerais phosphoreux de Lorraine, si abondants, n'était pas encore découvert.

On peut signaler, dans les environs de Modane, le filon de fer sphatique dit « grand filon », situé près de la mine de plomb des Sarrasins; de même, aux Fourneaux, au Freney, de petits filons ont été autrefois exploités, mais tout cela est actuellement abandonné et ne présente plus d'intérêt.

Des *fers oligistes*, bien cristallisés et très brillants, existent dans les environs de *Bourg-Saint-Maurice*, en filons d'une puissance moyenne de 3 à 4 mètres qui affleurent en des points assez éloignés les uns des autres et dans des grès houillers. Ces fers oligistes sont intéressants parce qu'ils sont très purs et renferment en moyenne 66,71 % de fer.

A la mine de Lancevard, sur le versant Est de l'Arbonne, se trouve un filon d'oligiste associé à des pyrites de cuivre et de fer; l'oligiste s'y présente en deux couches variant de 0 m. 90 à 2 m. d'épaisseur, de direction Nord-Est-Sud-Ouest et d'inclinaison Est. La mine des Arpettes, située à 1 km. 1/2 de la précédente, montre un beau filon massif d'oligiste, sans pyrites, pouvant se suivre sur une certaine étendue (peut-être plusieurs kilomètres), car on le retrouve au Nord à la base de la montagne de Roignais. Ce filon pourrait être exploité en grande partie à ciel ouvert, mais la question des frais de transport doit évidemment intervenir.

Voici l'analyse, faite à l'Ecole des Mines de Paris, de quelques échantillons de ces minerais :

Substances	Echantillons :			
	n° 1	n° 2	n° 3	n° 4
Silice.....	2,00 %	6,66 %	2,10 %	3,00 %
Peroxyde de fer.....	96,30	87,30	90,00	92,70
Magnésie.....	traces	traces	traces	traces
Acide phosphorique....	absence	absence	absence	absence
Chaux.....	0,30	3,00	4,05	2,30
Perte au feu.....	1,00	2,80	3,66	2,00
	99,60	99,76	99,81	100,00

Ce qui donne une moyenne de richesse en fer égale à 66,30 %. Un autre filon, de 2 m. de puissance, existe à *Montgirod*; il est également très pur, sa teneur en fer étant de 58 %. L'exploitation en serait rendue difficile par l'altitude élevée à laquelle il se trouve (2.000 m.), l'évacuation pourrait s'effectuer par un câble relié à la gare de Centron.

On connaît encore des affleurements de fer oligiste à Montaimond, Montpascal (schistes argileux du Trias des environs de Saint-Jean-de-Maurienne), Termignon, Bonneval, Modane, Saint-Pierre-de-Belleville, etc., en Maurienne; Arvillard, en Savoie; Pralognan, Champagny, Bozel, Montvalezan, la Côte-d'Aime, Villette, etc., en Tarentaise; Hauteluze, Vallorcine, en Haute-Savoie.

3° PLOMB. — L'exploitation des galènes argentifères de Tarentaise a été à un moment donné des plus actives; de nos jours, elle a bien diminué, mais les gîtes de Peisey et de Macot sont restés classiques dans la littérature scientifique. Ils sont situés de part et d'autre de la montagne de la Plagne et sur le côté occidental de la grande zone houillère de Savoie. La mine de la Plagne est sur le versant de *Peisey*; elle est à 1580 m. d'altitude; exploitée dès 1745, elle fut successivement abandonnée, puis reprise; actuellement, elle est en activité. Les conditions de gisement de la mine de *Macot* sont les mêmes, sauf qu'elle est située à une altitude plus élevée (2100 m.).

A Macot, le filon traverse un grès plus ou moins talqueux formé de débris de roches plus anciennes; son aspect cristallin

actuel vient d'une modification qu'il a subie depuis sa formation (cf. Réunion extraord. de la Soc. Géol. de France, 1844).

Le houiller présente ici un pendage de 20° Sud-Sud-Est et l'épaisseur du filon est de 12 à 14 m., d'après Mortillet; mais il existe de nombreuses autres petites couches, de sorte que l'exploitation se faisait, à un moment donné, sur huit niveaux successifs répartis sur un front de 80 m. d'épaisseur environ.

La galène argentifère de Macot est à petites facettes; elle est plus riche en argent que celle de Peisey et donne 5 % de schlich tenant 70 % de plomb et 140 gr. % d'argent par 100 kilos.

De 1814 à 1832, la mine de Macot a produit, d'après Mortillet :

3.401 kg. d'argent.
1.471.018 kg. de plomb.
66.417 kg. de litharge.

Les recherches sont actuellement abandonnées.

Par contre, à Peisey, la mine de la Plagne est en exploitation. Le filon, intercalé dans les quartzites du Trias, est constitué par une couche de schistes talqueux parallèle à la stratification, laquelle est en ce point dirigée Est-Ouest; en outre, son pendage se fait vers le Sud. Le minerai est très riche, mais varie de teneur suivant la région exploitée; il se présente généralement comme un amas de granulations de galène réunies par un ciment de silice et de baryte noirâtre et brillant; les gros éléments cristallins sont rares.

Les affleurements sont parallèles à la vallée de l'Isère et à une altitude variable : 1500 à 2000 m. L'exploitation procède par travers-bancs issus de la base du gisement. Mais elle y est difficile à cause de l'altitude, de la grande distance qui sépare la mine du chemin de fer, de l'absence de toute agglomération au voisinage (rareté de la main-d'œuvre) et de la présence de venues d'eau dans la mine qui empêchent les travaux en descenderies. Malgré ces difficultés, la Société des mines de la Plagne, qui exploite actuellement, a perfectionné son outillage. Une laverie permet de laver 25 tonnes de minerai et d'enrichir les minerais bruts (9 à 12 % de plomb) jusqu'à une teneur de

37 et même de 72 % de plomb (teneur moyenne, 50 %). Mais, dans ce dernier cas, on risque d'éliminer un peu de baryte argentifère (1 %). Le minerai trié à la main renferme 40 % de plomb, avec une proportion de 2,5 à 3 kilos d'argent à la tonne.

Le prix de la galène marchande (48 à 52 % de plomb, 1.300 gr. d'argent à la tonne) est assez élevé (800 francs) et lui permet de supporter les frais de transport de la mine au chemin de fer. En 1923, on a extrait 4.529 tonnes de minerai brut ayant donné, avec la reprise au stock, 692 tonnes de minerai marchand.

Si la production s'intensifiait, il deviendrait indispensable de faciliter l'évacuation des minerais au moyen d'un câble qui aboutirait au fond de la vallée.

Parmi les autres gisements de plomb argentifère de Tarentaise, citons, sur le territoire de la commune des Allues, la mine du Saut, Montvalezan-sur-Séze, Bourg-Saint-Maurice, Côte-d'Aime, Granier, etc. Aux Allues, la galène renferme 0,001 d'argent; elle y est mêlée de blende et de carbonate de chaux manganésifère. Mais, outre que ces filons sont moins puissants que les précédents (Macot, Peisey), les difficultés d'exploitation restent presque toujours les mêmes.

M. Révil a signalé un petit filon de galène argentifère en amont du village de Beaubois (environs de Beaufort).

En Maurienne, citons d'abord la « mine des Sarrasins », aux environs de Modane, étudiée par MM. Kilian et Révil, où existe un filon très irrégulier, à gangue de quartz, barytine et blende dans des schistes micacés. D'après les spécialistes, il serait nécessaire, pour reprendre la mine, d'abaisser le niveau de l'exploitation en creusant un travers-banc qui atteindrait le filon à une certaine profondeur.

La mine de la « Tanière à l'Ours », près de Saint-Jean-de-Maurienne, renferme, dans les calcaires liasiques minéralisés, du plomb et du zinc. Ces produits, comme ceux de Peisey et Macot, étaient fondus à Conflans (Albertville-le-Vieux).

Une couche de galène de 1 m. d'épaisseur, verticale, a été

signalée par les anciens auteurs à Saint-Léger. Quant à la mine d'Argentine, elle a autrefois fourni (vers 1855) une certaine quantité de plomb sulfuré argentifère. Le filon d'Argentine a pu être suivi en direction sur près d'un kilomètre, entre les torrents de Balme et de Montollier.

Enfin, quelques filonnets de galène argentifère sont connus à Hermillon, Montvernier, Pontamafrey, sur le pourtour du massif de Rocheray, et démontrent la continuité du gîte de Saint-Avre; à la Table, Verneil, Bourget-en-Huile, aux environs de La Rochette.

4° ZINC. — La blende est toujours associée à la galène dans les gîtes des Alpes. Citons tout d'abord le plus important, celui de *Saint-Avre*, en Maurienne, situé sur la rive droite de l'Arc, entre Saint-Avre et Saint-Jean-de-Maurienne, dans le petit massif de schistes cristallins injecté de granites et granulites du Rocheray.

L'Arc entame ce massif jusqu'au cœur cristallin qui se montre très plissé, redressé et recouvert en discordance par une enveloppe de Trias ainsi constituée :

- 1° A la base, des arkoses;
- 2° Une coulée de spilite (roche basique éruptive);
- 3° Banc de dolomie capucin et calcaires dolomitiques;
- 4° Calcaire à silex et schistes du Lias qui, plus à l'Est, forment une succession de plis couchés empilés.

Cette enveloppe est légèrement inclinée vers l'Est (30° environ). Le niveau de calcaire dolomitique (4, 3) est minéralisé sur une très grande étendue et il est très facile à suivre et à repérer. C'est là un avantage considérable sur les autres mines des Alpes, généralement constituées par des filons irréguliers et difficiles à suivre.

La minéralisation semble émaner des schistes cristallins sous-jacents qui présentent fréquemment des mouchetures de blende et de galène, de sorte que l'on ne peut pas affirmer *a priori* que le Trias soit partout imprégné. Il est cependant intéressant

de souligner, pour les prospections futures, la facilité avec laquelle les dolomies du Trias se minéralisent. Saint-Avre n'est qu'un exemple entre cent autres de ce fait.

D'après M. L. Duparc, qui a fait une étude très poussée du gisement¹, le gîte de Saint-Avre est un gîte d'imprégnation et de substitution²; les dolomies sont plus ou moins silicifiées, ou remplacées par du quartz et de la fluorine. La minéralisation est formée de blende, de galène, avec un peu de chalcopryrite. La blende est jaunâtre et finement grenue, la galène est cristallisée en petits éléments ou forme des amas plus volumineux. L'imprégnation a parfois pénétré divers niveaux du Trias.

Pour résoudre le problème de la constance et de la régularité de la zone minéralisée, on a récemment creusé de nombreuses galeries ou travers-bancs de recherche, dont plusieurs ont rencontré un Trias plus ou moins minéralisé, mais la teneur en minerai s'est toujours montrée satisfaisante.

L'analyse du tout-venant a donné 3,5 % de plomb et 7 % de zinc, et celle du minerai trié :

Quartz.....	37 %	Galène.....	6,2 %
Fluorine.....	25	Blende.....	28,7
Divers.....	3		

Le massif du Rocheray renferme donc des gisements zincifères assez importants pour justifier une petite exploitation; celle-ci pourrait se faire par abatage pur et simple, puis triage de la dolomie minéralisée de la base du Trias.

On connaît, à Saint-Jean-de-Maurienne et Modane, des petits gîtes à blende, mais d'importance très relative.

Le gîte de *Bonvillard*, dans les environs d'Albertville, est plus intéressant. D'après M. Révil, il est situé à la limite des terrains cristallins, non loin de Sainte-Hélène-sur-Isère; quel-

¹ Sur le gisement de Saint-Avre en Maurienne (*C. R. Soc. Phys. et Hist. Nat. Genève*, vol. XL, n° 2, 1923).

² C'est-à-dire qu'il y a eu, d'après la théorie de M. de Launay, remise en mouvement par les eaux thermales des matières minérales contenues dans les filons des schistes cristallins : les eaux minéralisées ont abandonné fer, zinc et plomb au contact des dolomies triasiques qui se sont, par contre, appauvries en chaux.

ques filons de quartz et de barytine, minéralisés par du sulfure de plomb et de zinc, sillonnent des schistes à séricite, lesquels sont au contact des dolomies triasiques (La Mollière, Plan-Longeray, Creux du Loup, etc.).

5° ANTIMOINE. — Se trouve à l'état de sulfure mêlé à d'autres minerais dans de nombreuses localités : Sainte-Hélène-sur-Isère, Saint-Thomas-des-Essarts, Saint-Paul, Servoz, etc. Il n'a jamais été exploité.

6° BISMUTH, NICKEL, COBALT, ARSENIC. — Dans les environs d'Albertville, à la Bathie, on connaît un filon de pyrite arsenicale. On y a trouvé aussi des indices des autres métaux, mais toujours en association avec la blende et la galène.

Il est intéressant de signaler, à la suite d'Albanis Beaumont, un petit filon de quartz avec cobalt, disséminé, près du petit lac de la Crossa (montagne du Bessinet, aux confins du Piémont). Les minerais de cobalt, même en quantité infime, sont actuellement très recherchés par l'industrie¹. Dans la même région, le même auteur a trouvé un filon avec de l'arsenic natif, un autre avec du mispickel, enfin un autre encore avec du bismuth. Ces gîtes seraient à revoir.

7° MANGANÈSE. — Se trouve associé aux fers carbonatés de Maurienne.

8° TITANE. — Des minerais de titane ont été signalés en Tarentaise, dans la montée de Salins à Saint-Jean-de-Belleville (Verneihl) et à la Roche-Cevins, entre Albertville et Moûtiers (Brochant de Villers).

C. — Conclusions.

L'importance de l'exploitation des mines métalliques est très réduite dans les deux départements de la Savoie et de la Haute-

¹ On remplace l'alumine par de l'oxyde de cobalt dans les ciments destinés à résister à l'action de la mer.

Savoie; seules, les mines de plomb argentifère de la Plagne et la mine de cuivre des Fosses sont en activité.

Il y a plusieurs causes à cet état de choses. Tout d'abord, la rareté des gîtes présentant une quantité intéressante de minerai à exploiter. Ensuite, l'altitude généralement élevée de la plupart des affleurements fertiles, la difficulté des moyens d'évacuation, la pénurie de la main-d'œuvre. En outre, l'intérêt de ces exploitations ou de ces possibilités d'exploitation reste, dans beaucoup de cas, subordonné au progrès et à l'adaptation des procédés électrométallurgiques. On sait que c'est la découverte du procédé Thomas pour traiter les fontes phosphoreuses qui a coulé l'exploitation des minerais de fer manganésifères non phosphoreux des Alpes. Toutes nos mines de Savoie se heurtent plus ou moins à ces obstacles, même celles qui, comme Peisey et Macot, sont d'une richesse relative et livrent un minerai dont le prix élevé compense les frais d'évacuation.

Toutefois, parmi les mines que nous avons énumérées, celle de Saint-Avre (blende, galène) paraît particulièrement favorisée comme conditions géologiques générales et comme situation, et il est à souhaiter qu'une tentative sérieuse d'exploitation méthodique soit engagée sous peu¹.

De même, pour les gisements de sidérose qui prédominent dans la grande chaîne de Belledonne (vallée de l'Arc avec Saint-Georges-des-Hurtières et vallée des Huiles) et situés sur le prolongement de ceux d'Allevard, quelque chose pourrait être entrepris, malgré la sérieuse concurrence des minerais phosphoreux de Lorraine.

Les minerais de fer (oligiste) des environs de Bourg-Saint-Maurice, malgré leur richesse exceptionnelle, n'ont donné lieu de nos jours à aucune tentative d'exploitation, bien que l'établissement de la voie ferrée de Moûtiers à Bourg-Saint-Maurice

¹ A ce sujet, rappelons que le traitement des blendes au four électrique n'a pas donné de résultats intéressants et que ce sont les procédés électrolytiques qui semblent devoir s'imposer à l'avenir.

soit un facteur particulièrement intéressant pour leur mise en valeur.

Le plomb argentifère de Peisey et Macot est encore susceptible de tenter l'industrie; la mine de la Plagne, sans réaliser des bénéfices considérables, extrait annuellement un tonnage intéressant de minerai, développe ses installations du jour et procède à des travaux de recherche. Mais, comme ces mines sont situées dans des régions très disloquées, il serait utile, pour comprendre l'allure des filons, d'en bien faire préciser la tectonique par des spécialistes.

Enfin, les cuivres de la vallée de Beaufort, et spécialement les filons du Grand-Mont et des abords d'Hauteluze, pourraient faire l'objet de prospections de détail; ceux de La Rochette (Bourget-en-Huile, Presles, Arvillard) ne sont point à négliger et l'on sait que la Société qui exploite actuellement la concession des Fosses y trouve son profit¹!

Mais, encore une fois, reconnaissons franchement que la richesse en minerais métalliques de nos Alpes de Savoie demeure très relative et que si la variété et la qualité des produits sont satisfaisantes, il n'en est pas toujours ainsi de la quantité, qui a bien son importance dans l'économie d'une mine. Les Alpes sont, de ce point de vue, une chaîne trop jeune, trop élevée, et nous ne prenons contact, au cours des prospections, qu'avec la terminaison de rameaux filoniens. Les vraies richesses existent en profondeur, où sont enfouis les gîtes de départ, les gros amas, mais inaccessibles à nos faibles investigations, et il faut se résoudre à laisser la nature effectuer le lent travail d'usure qui arase les montagnes et décape les filons, mais durant lequel passent les Humanités!

¹ Mais l'exploitation de toutes ces mines métalliques de Savoie ne peut être qu'intermittente et subordonnée aux besoins éventuels et momentanés de l'industrie; c'est ainsi que les minerais de cobalt, employés depuis peu dans certaines opérations métallurgiques, sont brusquement devenus l'objet de recherches de la part des prospecteurs industriels.

CHAPITRE IV

Produits divers.

I. — MATÉRIAUX RÉFRACTAIRES.

Quartzites, sables réfractaires, sables de verrerie.

Les matériaux siliceux susceptibles d'être utilisés en Savoie se rapportent aux catégories suivantes :

- 1° Quartzites sédimentaires des zones intra-alpines, ou en bordure des Préalpes, à Taninges;
- 2° Sables et argiles réfractaires de Saint-Jean-de-Couz et des Déserts (zone jurassienne);
- 3° Sables à verrerie du flanc oriental de l'axe Lovagny-montagne de la Balme-Salève (zone jurassienne).

Il n'est pas question ici des quartz filoniens dont l'utilisation est très restreinte et qui présentent assez rarement une épaisseur suffisante pour motiver une exploitation; ils sont en général très localisés (massifs cristallins).

1° Quartzites.

Les quartzites sédimentaires sont très développés dans le Trias de Maurienne (amont de Modane) et de Tarentaise (Moutiers, carrière du pont d'Ador), où ils se présentent en larges zones d'affleurement faciles à exploiter; on les retrouve à Taninges, dans la zone préalpine. A la rigueur, on pourrait très aisément exploiter les éboulis souvent très importants qui descendent jusqu'au fond des vallées, notamment à Pralognan.

Près de Modane, à Villarodin, on exploite des quartzites émiettés par les plissements alpins, ce qui facilite la besogne des malaxeurs¹; ces quartzites alimentent les industries électrochimiques échelonnées le long de l'Arc.

Des études seraient à faire, par des spécialistes, sur ces diverses variétés de quartzites alpins, de façon à être renseigné sur leurs propriétés, pour pouvoir diriger les recherches et conseiller sur leur utilisation éventuelle comme matière première de briques réfractaires, quartz fondu, etc.

C'est pourquoi il est utile de donner ici quelques indications sommaires sur les propriétés requises pour l'utilisation la plus importante des quartzites : la fabrication des briques réfractaires².

La roche doit tout d'abord être formée de silice presque pure (96 à 98 % de silice) et être très homogène. Il ne faut pas plus de 2 à 4 % d'impuretés (alumine, oxyde de fer, chaux, magnésie, alcalis); ces impuretés sont d'ailleurs utiles, elles jouent un rôle considérable dans l'agglomération, surtout la chaux. Les quartzites qui contiennent des alcalis ou de la baryte sont à éviter. Par contre, de la silice absolument pure ne conviendrait pas, car le quartz supporte mal la chaleur et s'émiette.

Il faut de la silice qui ne se gonfle ni ne s'effrite à 1.400°. Les briques fabriquées doivent résister à 1.750° et être suffisamment dures pour ne pas se désagréger au contact des gaz des fours Martin; elles ne doivent pas non plus se dilater par la chaleur, ce qui détruirait les voûtes.

¹ En effet, toutes les fois que l'on utilise les quartzites uniquement pour leur silice, on est obligé de procéder à un broyage préalable souvent onéreux, de sorte que l'on a tout avantage à employer les quartzites émiettés ou sabieux (cf. p. 137, Sables de la Plagne).

² Cf. Wernicke et Wildschrey, Utilisation des quartzites pour les produits réfractaires (*Journal of Soc. of chemical industry*, XXIX, 1910). L'utilisation d'un quartzite dépend essentiellement de son point de fusion et de sa variation de volume aux hautes températures. Le quartz pur se dilate trop. Un quartzite pauvre en silice est trop fusible. Voir également, en ce qui concerne le choix et l'utilisation des matières premières siliceuses, les travaux de H. Le Chatelier et ceux, plus récents, de Léon Bertrand et A. Lanquine.

Cette industrie, avant de se développer, demande donc de sérieuses recherches préalables; il conviendrait de rechercher si les conditions énumérées ci-dessus se trouvent réalisées pour les quartzites de la vallée de l'Arc, de l'Isère, du Giffre. Donc, procéder le plus possible à des analyses chimiques. Voici, à titre de comparaison, quelques analyses de quartzites alpins :

Provenances.	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	Perte	Observations.
Modane.....	72,58 %	3,20 %	15,8 %	3,26 %	0,56 %	4,86 %	mauvais.
Moûtiers.....	93,31	1,76	2,72	0,19	0,69	0,56	} passable.
Bout du Monde.	86,69	1,76	8,89	0,15	0,37	1,50	
Moûtiers (aval pont Ador)...	96,80	1,85	0,80	0,35	traces		excellent (utilisé à l'usine de la Volta).

Les quartzites du Bout du Monde sont utilisés comme produits réfractaires. Ceux de Taninges sont exploités en deux grandes carrières : une partie des matériaux extraits est employée à l'usine du Giffre pour la fabrication du ferro-silicium, l'autre sert à empierrer les routes. La carrière de Taninges a fourni 680 mc. de quartzites en 1921 et 2.844 mc. en 1922. En Savoie, les différentes exploitations de Saint-Marcel, Bozel, Modane, Bourg-Saint-Maurice ont passé de 3.554 tonnes en 1922 à 16.200 tonnes en 1923. Ces matériaux sont de plus en plus employés par l'industrie électrochimique de Maurienne et de Tarentaise (fabrication du ferro-silicium, usine de la Volta).

2° Sables siliceux.

Suivant leur constitution, ils pourront être employés comme matériaux réfractaires (briques siliceuses) ou comme produits de verrerie. Nous distinguerons les sables siliceux du Trias, ou sables de la Plagne, et les sables siliceux éocènes.

A. — SABLES SILICEUX DE LA PLAGNE. — Ces sables sont situés sur le même horizon que les quartzites, dont ils constituent un faciès particulier. Ils sont extrêmement purs et renferment jusqu'à 97 % de silice. Ils présentent sur les quartzites l'avantage d'être pulvérulents. De sorte que, malgré l'altitude élevée

du gisement, le prix de l'installation d'un câble serait peut-être vite couvert. Mais il faudrait auparavant reconnaître l'étendue du gisement. L'exploitation en serait d'ailleurs très facile et pourrait se faire à l'aide de dragues ou de cuillers mécaniques. Mais il serait utile, pour éviter de détériorer ces appareils, de procéder à de petits sondages dans la masse des sables pour vérifier qu'il n'existe pas de bancs interstratifiés de quartzite intact. On avait un moment pensé se servir de ces sables dans une verrerie qui aurait été installée à Aime, mais il n'a pas été donné suite à ce projet. Peut-être remplaceraient-ils avantageusement le sable de Fontainebleau dans l'industrie du quartz fondu ?

B. — SABLES SILICEUX ÉOCÈNES. — Ces sables sont abondants dans la zone jurassienne de Savoie, où ils constituent la formation connue par les géologues sous le nom de *sables et argiles bigarrés*. Cette formation se rencontre d'ailleurs dans tout le Sud-Est de la France, où de multiples et importants travaux lui ont été consacrés. Elle date de la période continentale qui a marqué les débuts de l'Eocène dans notre région et résulte très probablement du lessivage des terrains crétacés (dont on retrouve d'ailleurs les silex et Oursins silicifiés à Couz) et d'apports étrangers, le tout s'étant déposé et stratifié dans les petits bassins lacustres au fond anfractueux et karstique qui s'égreuaient sur cette terre nouvellement émergée.

Ce sont donc des formations fluvio-lacustres réduites actuellement à des lambeaux conservés dans les anfractuosités du terrain, mais qui devaient former autrefois un manteau presque continu dans la vallée du Rhône. Ce manteau a été morcelé lors des plissements préoligocènes.

Leur mode de formation spécial, en rapport avec les terrains qui ont été démantelés au voisinage, va nous expliquer leurs conditions variables de gisements et le caractère forcément aléatoire des conclusions auxquelles donne lieu leur étude.

1° Il n'y aura donc pas d'assises régulières, continues, mais surtout des poches et des nids.

2° Aucune régularité dans la constitution des strates, celle-ci est naturellement fonction des torrents ou des fleuves qui ont apporté tels ou tels matériaux (sable pur, sable impur, sables argileux, argiles, etc.).

La composition est donc extrêmement variable et c'est précisément ce que l'on constate en allant du Sud au Nord. A Couz, par exemple, ces sables se sont en grande partie élaborés aux dépens des calcaires du Crétacé supérieur (Sénonien); on y ramasse, en effet, à foison les silex, si fréquents dans les parties supérieures de ce terrain, et même des Oursins (*Micraster*) silicifiés; à Marny et à Bromines, ils se chargent des grains de glauconie, si abondants dans l'Albien, etc.¹.

Qualités que doivent posséder ces sables. — a) Pour faire des produits réfractaires : ils doivent être très purs, une faible teneur en carbonate de chaux (eaux de surface) ou en oxyde de fer les rend inutilisables (v. *ante*, condit. analogues que p. quartzites). Leur grain ne doit pas être trop fin.

b) Pour les travaux de verrerie : grande pureté, blancheur pour la verrerie fine; s'ils contiennent du fer, ils peuvent être utilisés dans la fabrication du verre à bouteilles.

PRINCIPAUX GISEMENTS. — 1° *Saint-Jean-de-Couz, Les Echelles.* — Les sables, parfois très grossiers, avec zones plus ou moins argileuses, sont nettement stratifiés et reposent sur les « lauzes » sénoniennes (calcaire grossier à Bryozoaires). Ils tiennent la place des calcaires à silex sénoniens; le calcaire a disparu par décalcification et le résidu insoluble est seul resté : silex, Oursins silicifiés, grains de quartz parfois roses et dépassant 5 mm. Sur les cartes géologiques, ces formations sont appelées à tort « sidérolithique ».

La formation est recouverte en concordance par le calcaire

¹ Enfin, les gisements les plus rapprochés du Massif Central (granite) sont kaoliniques.

lacustre et les marnes aquitaniennes et enfin par la mollasse marine à dents de *Lamna* et de *Charcharodon*, transgressive, qui recouvrait autrefois, avant l'exploitation, tout le gisement.

Les sables de cette carrière sont très purs, presque uniquement siliceux, sans kaolin, avec de rares paillettes de mica microscopiques.

La fabrique de produits réfractaires dite de Saint-Christophe, située à proximité de la carrière, fut fondée en 1852, à la suite de la découverte des sables. D'après le chimiste Bonjean, ces sables comptent parmi les meilleurs de l'Europe et peuvent être comparés à ceux d'Andenne (Belgique), de Pologne, de Stourbridge (Angleterre) et surtout de Forges-les-Eaux (Seine-Inférieure).

L'usine, à cette époque, avait deux fours et produisait 200.000 briques réfractaires à 150 francs le mille; ses produits allaient jusqu'en Italie et en Allemagne.

Actuellement, sous l'active impulsion de M. Périnel, cette industrie s'est grandement développée; 2.000 tonnes de sables réfractaires ont été extraites des carrières de Saint-Jean-de-Couz en 1922 et 3.500 tonnes en 1923 (exploitation de Côte-Barrier).

Dans la vallée des Déserts, à l'Est de Chambéry, existent également des sables éocènes, mais les affleurements sont mal situés et l'exploitation en serait difficile.

Voici diverses analyses de sables siliceux comparées à celle des sables de Saint-Christophe :

	Forges ¹	Mon-tereau ¹	St-Christophe ¹	Saint-Nazaire-en-Royans (Drôme) ² (sables rouges)	(sables blancs)
Silice.....	0,650	0,650	0,689	0,91	0,947
Alumine.....	0,240	0,249	0,258	0,0565	0,039
Oxyde de fer..	traces	traces	traces	0,008	0,004
Chaux.....	traces	traces	traces	0,003	0,004
Eau.....	0,110	0,101	0,065	0,02	0,004

¹ D'après Lachat.

² D'âge éocène inférieur (Sparnacien). analyses d'après M. de Jarente.

2° *Arith (Savoie)*. — On trouve, aux environs de cette localité (Montagny), de très beaux sables siliceux, blancs, autrefois exploités pour verrerie et transportés à Alex. Tout le dos de la montagne de Bange serait d'ailleurs à explorer du point de vue des affleurements de sables éocènes.

3° *Lovagny*. — Les sables éocènes sont très développés des gorges du Fier à Chaumontet, mais surtout au-dessus des villages de Moiry et de Marny (fig. 1 et pl. III, fig. 2).

A Marny, la coupe est la suivante, de haut en bas :

- 1° Glaciaire (avec imprégnations bitumineuses);
- 2° Sables siliceux jaunâtres, calcarifères (bitumineux par place);
- 3° Conglomérat à ciment siliceux vert et à éléments crétacés;
- 4° Sables verts pyriteux, avec taches bitumineuses;
- 5° Conglomérat à galets de silex;
- 6° Sables verts ou blancs, calcarifères, parfois consolidés en grès;
- 7° Urgonien.

Les sables blancs et verts sont exploités pour faire des moules aux fonderies de Cran. Bien que siliceux, leurs impuretés et surtout leur richesse en carbonate de chaux les rendent impropres à la fabrication des produits réfractaires. Ils contiennent également beaucoup de sulfure de fer (marcassite), dont la décomposition provoque la formation de fines aiguilles de sulfate de fer avec dépôt de soufre. Pas d'argile, quelques rarissimes paillettes de mica. Une partie de ces sables a été imprégnée par des venues asphaltiques à point de départ urgonien.

Ce gisement est un exemple entre cent des variations latérales de cette formation.

4° *Bromines*. — Les sables éocènes y forment une puissante couche plaquée contre l'Urgonien (fig. 1). Ils sont toujours très siliceux, mais aussi fortement glauconieux; quelques bancs ont



gardé la teinte verte de ce minéral, d'autres sont devenus rouges par suite de l'oxydation en masse de la glauconie. On note également des bancs conglomératiques avec éléments créacés. De haut en bas, on a :

- 1° Mollasse aquitanienne;
- 2° Banc de conglomérat très dur avec silex;
- 3° Brèche ferrugineuse à cailloux blancs (silex altérés);
- 4° Sables siliceux rougeâtres à grains roux (glauconie transformée en oxyde de fer);
- 5° Sables siliceux verts, glauconieux, à rognons de marcasite, grande épaisseur;
- 6° Albien et Urgonien.

Ces produits ne pourraient guère être utilisés que comme moules à fonte.

5° *Montagne de la Balme, Crêt à la Dame, montagne d'Allonzier.* — Sur le flanc oriental de cette chaîne se retrouvent les formations de Bromines, toujours du type « sables siliceux calcarifères » (fig. 1). Seul, le gisement d'Allonzier, situé sur le flanc oriental du Crêt à la Dame, paraît intéressant par la blancheur, la pureté, l'épaisseur du sable. Ce gisement annonce les amas plus septentrionaux et si réputés du Salève, que nous allons maintenant étudier.

6° *Salève.* — Les affleurements d'Eocène sont surtout groupés dans les environs du bourg de Cruseilles (pl. VII et fig. 1). Il y a là de formidables accumulations de sables siliceux blancs, d'une grande pureté (80 à 90 % de SiO_2), ou jaunes, et alors un peu ferrugineux, et qui ont été autrefois utilisés par les verreries de Thorens et d'Alex. Actuellement ces richesses, après être restées longtemps inutilisées, sont exploitées par l'usine de briques siliceuses d'Annecy. La grande difficulté de cette industrie naissante a été de trouver un agglomérant con-

venable, permettant à la brique, une fois moulée, de conserver sa forme à la cuisson. La pureté de ces sables siliceux ne laisse rien à désirer pour la fabrication des matériaux réfractaires, mais leur finesse est, par contre, trop grande et nuit à la cohésion, de sorte que les premiers essais s'écrasaient pendant leur passage au four. La persévérance des industriels a eu raison de toutes ces difficultés; par des dosages spéciaux de sable blanc, de sable jaune, de terre alumineuse de Bollène et de terre de Cuvat (sables silico-ferrugineux à 70 % de SiO_2)¹, on est arrivé à produire des briques rigides, conservant leur forme et résistant, paraît-il, à 1.700°. Ces produits, peu demandés dans la région, sont assez couramment expédiés aux industries métallurgiques d'Alsace.

Certaines quantités de sables bruts ont été expédiées aux verreries d'Italie où ils sont très appréciés. Il est regrettable que l'industrie de la verrerie fine, qui a fait autrefois ses preuves en Savoie, et dont certains produits, fort beaux, sont très recherchés par les amateurs, ait, de nos jours, complètement disparu. Les affleurements de sables se poursuivent jusqu'à Vovray avec la même pureté; à partir de cette localité, ils deviennent ferrugineux et par conséquent inutilisables comme produits réfractaires, mais, par contre, excellents pour les produits de verrerie grossière. On en retrouve à Monnetier, Mornex et au Grand-Salève.

D'après de Mortillet, on trouve encore des sables siliceux à Seyssel, à Crampigny, à Saint-André (entrée du Val de Fier), Lornay, Challonges. D'après le même auteur, la terre silico-calcaire du Cruseillet était autrefois employée à Cran comme moule à fonte. Enfin, on sait que ces sables sont très développés au Pont-des-Douattes, près Frangy, où ils sont bitumineux.

¹ La localité de Cuvat est située sur la bordure orientale de la montagne de la Balme. Il resterait à découvrir dans nos régions l'équivalent des terres alumineuses de Bollène. La terre rouge des Annes et de Sulens, ainsi que certaines argiles glaciaires, seraient à étudier à ce sujet.

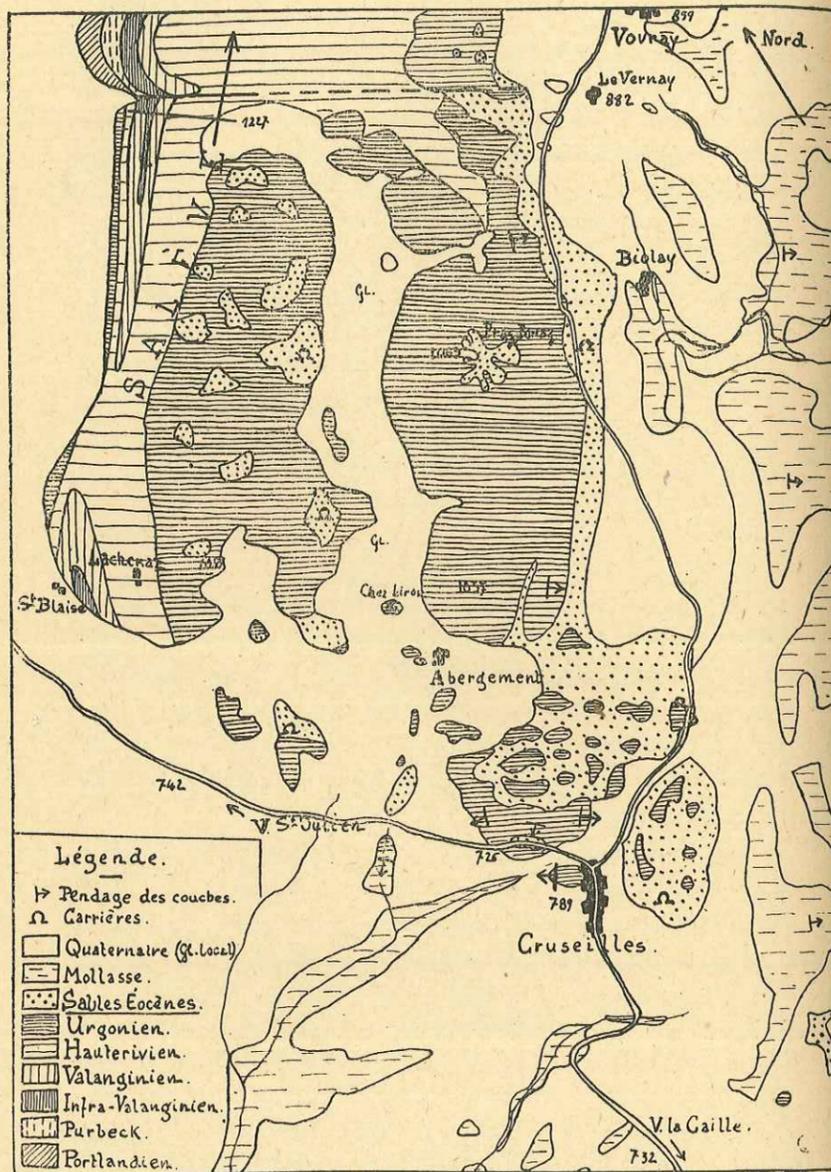


PLANCHE VII.

3° Note sur les verreries de Thorens et d'Alex.

Une verrerie dite « verrerie de Sales » fut fondée, en 1755, par le marquis de Sales, associé avec Pierre de Chosal et Melchior Meyer; elle fut portée à un haut degré de perfectionnement par Henry Chappuis de Bellecombe. L'emploi qu'on y faisait du sable de Cruseilles permettait la fabrication de cristaux fins des plus estimés. En 1855, l'usine produisait 50.000 fr., chiffres qui nous font sourire aujourd'hui.

La verrerie d'Alex est moins ancienne; elle ne fut fondée qu'en 1801, par d'anciens ouvriers de Thorens; les forêts qui alimentaient en combustible l'usine de Thorens avaient été rapidement épuisées, c'est ce qui explique en partie ce déplacement vers les riches forêts d'Alex. On y fabriquait du verre blanc et du verre noir. La composition du mélange destiné à la fabrication du verre blanc était la suivante :

Sable de Cruseilles + chaux vive + sel + oxyde de Mn + oxyde d'As.

En 1855, 80 ouvriers produisaient 150.000 francs.

En 1821, on avait songé à transférer la verrerie d'Alex en Chablais, soi-disant à cause du manque de bois; en réalité, Laffin de Perravex, concessionnaire des mines de charbon du Chablais, désirait s'en rapprocher pour les mettre à contribution. En 1825, la verrerie devient manufacture royale, ce qui établit sa réputation. Il est sorti d'Alex environ 1.200.000 pièces diverses en cristal, verre blanc, verre noir¹.

Enfin, une autre verrerie existait à Annecy, dans l'ancien couvent des Annonciades, et qui avait été fondée en 1803, le 14 juillet, par le propriétaire des mines d'Entrevernes qui trouvait ainsi l'utilisation de son lignite.

¹ Une intéressante exposition rétrospective des industries d'art de Savoie, qui a eu lieu à Chambéry, dans le courant de l'été de 1924, a permis, en particulier, de mettre en valeur et de faire connaître quelques-unes de ces pièces.

4° Conclusions.

Ainsi que nous l'avons dit plus haut, il serait utile d'étudier les quartzites de Maurienne et de Tarentaise, en vue de leur utilisation éventuelle comme matériaux réfractaires. Une teneur de 96 % en silice peut motiver une exploitation intéressante. La situation de certains affleurements en bancs au bord des routes, les accumulations de blocs au bas des éboulis, sont autant de conditions favorables destinées à faciliter l'exploitation et dont il faut tenir compte.

Il est à souhaiter que l'exploitation des sables de Cruseilles et d'Allonzier soit reprise sur une grande échelle, soit en vue de la fabrication de briques réfractaires, soit de préférence comme sables à verrerie¹. Il y a là très certainement une source de richesse.

Nous n'avons pas, en Savoie, de sables kaoliniques analogues à ceux de la Drôme.

II. — CHAUX, CIMENTS, CALCAIRES DIVERS.

A. — Généralités.

La Savoie est riche en matériaux susceptibles d'être employés comme pierre à ciment, pierre à chaux, pierres de constructions.

On trouve notamment, dans les chaînes subalpines des environs de Chambéry (Montagnole, Saint-Alban, Leysse), des *pierres à ciment naturel*, dans l'étage Berriasien. Ce sont des calcaires bleuâtres, tendres, de toucher onctueux, de compositions chimique et physique définies et utilisés tels que par l'industrie.

Mais la composition chimique de ces roches peut varier dans certaines limites d'un banc à l'autre et, dans le même banc,

¹ On pourrait aussi songer à la fabrication du quartz électro-fondu (pierres à aiguiser, bougies d'automobiles...).

d'un point à l'autre, de sorte qu'il faut se livrer à des analyses fréquentes d'échantillons judicieusement prélevés pour suivre le banc intéressant; les roches aptes à donner de bonnes qualités de produits sont donc limitées à des zones souvent étroites dans un front de taille de carrière.

Cet inconvénient n'existe pas avec la pratique des *ciments artificiels* qui tendent peu à peu à remplacer les précédents. Cette fabrication est plus scientifique et permet de doser exactement le mélange de calcaire pur avec la marne ou l'argile que l'on choisira homogènes et de composition fixe.

Les qualités essentielles que l'on réclame d'un calcaire pour la fabrication des ciments artificiels sont surtout la pureté et l'homogénéité. On trouvera de tels calcaires dans la bordure sédimentaire du massif de Belledonne et dans les chaînes subalpines (Grande-Chartreuse, Bauges, Alpes d'Annecy, etc.) et particulièrement dans les terrains jurassiques et crétacés. C'est également dans les assises de ces terrains, ainsi que parmi les formations tertiaires et quaternaires, que l'on pourra emprunter les argiles et les marnes qui entrent dans la constitution du mélange dosé.

Les formations intra-alpines sont en général trop siliceuses, ou trop magnésiennes, pour se prêter à la fabrication des ciments artificiels. Cependant, quelques calcaires recristallisés (environs de Moûtiers, Le Châtelard, Saint-Jean-de-Maurienne), d'âges divers, presque dépourvus de silice, pourraient être employés à cette fabrication.

Certains calcaires argilo-siliceux de la Savoie fournissent d'excellentes *chaux hydrauliques*¹, notamment dans la localité

¹ On sait que l'hydraulicité des chaux dépend de la quantité d'argile contenue dans les calcaires traités. On distingue dans l'industrie les produits suivants :

- Les calcaires contenant 5,3 à 8,2 % d'argile donnent des chaux faiblement hydrauliques.
- Les calcaires contenant 8,2 à 14,8 % d'argile donnent des chaux moyennement hydrauliques.
- Les calcaires contenant 14,8 à 19,1 % d'argile donnent des chaux hydrauliques p.p.d.

de Sévrier, au bord du lac d'Annecy, où ce sont les bancs supérieurs de l'étage Sénonien qui sont exploités.

Les *chaux grasses* se font avec des calcaires très purs, dont le type est, pour notre région, fourni par le calcaire urgonien qui forme l'élément dominant des chaînes subalpines, de Grenoble à la vallée du Rhône.

Les usines électrochimiques de Maurienne ou de Tarentaise recherchent, pour la fabrication du carbure de calcium, des calcaires purs qu'elles sont parfois obligées de faire venir de fort loin.

Certaines usines, comme celles de Montricher, en Maurienne, trouvent cependant à pied d'œuvre des matériaux excellents; les calcaires blancs et cristallins du Nummulitique de la région (Lutétien) sont en effet très purs, exempts de magnésie et pauvres en fer et en silice.

Enfin, l'industrie peut également utiliser des *roches magnésiennes* (dolomies), lesquelles sont rares ou de qualité médiocre dans notre région.

Les matériaux de construction abondent dans toutes les zones alpines et jurassiennes de la Savoie. Certains calcaires cristallins ou bréchoïdes sont même susceptibles de recevoir un beau poli et d'être employés, sous le nom de marbre, comme pierre d'ornementation.

B. — Principales exploitations.

Il serait fastidieux de décrire ici toutes les exploitations de pierres à ciment, à chaux ou de construction de la Savoie, et nous nous bornerons à étudier les plus importantes.

Les calcaires contenant 19,1 à 21,8 % d'argile donnent des chaux éminemment hydrauliques.
Les calcaires contenant 21,8 à 26,7 % d'argile donnent des chaux limites ou des ciments à prise lente.
Enfin, les calcaires dépassant la teneur de 26,7 % et allant même jusqu'à 40 % d'argile fournissent les ciments à prise rapide.

1° SAVOIE. — *Pierres à ciment des environs de Chambéry.* — Les exploitations sont localisées sur le prolongement Sud d'une partie des plis de la montagne du Nivolet. Ces plis, déversés vers l'Ouest, forment ce que M. J. Révil a appelé le faisceau anticlinal de Montagnole-Entremont. Il y a là une série d'anticlinaux à charnière jurassique (Tithonique) (anticlinaux de Buisson-Rond, de la Fontaine Saint-Martin, de Jacob), séparés par des synclinaux de Crétacé inférieur (Berriasien) (synclinaux des Charmettes, de Bellecombette). Mais les carrières sont de préférence situées tout au long du synclinal berriasien de Bellecombette.

La pierre à ciment doit être exploitée par carrières souterraines; le soleil et la pluie font, en effet, éclater les bancs et les réduisent en menus morceaux qui deviennent ainsi impropres à la cuisson. De très nombreuses carrières sont en activité

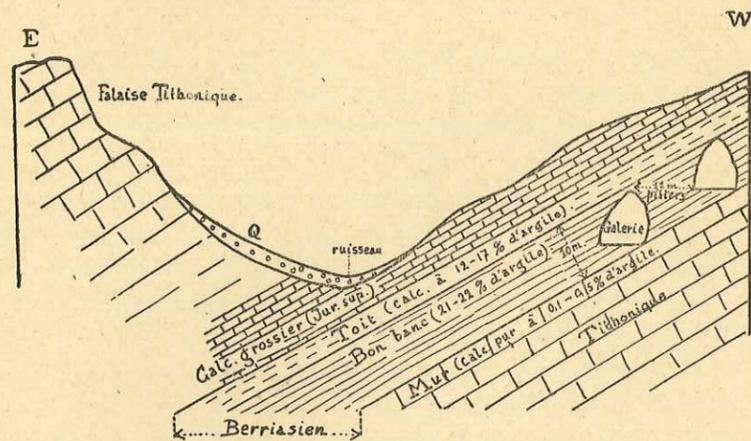


Fig. 3.

Coupe schématique d'une carrière de pierre à ciment (Berriasien) à Montagnole près Chambéry (carrière du Pontet).

et toutes sont analogues. Nous prendrons comme type l'exploitation dite du Pontet (fig. 3). Cette carrière est taillée dans le flanc occidental d'une petite vallée dominée à l'Est par la barre tithonique de l'anticlinal de la Fontaine Saint-Martin. Les

assises du Berrias forment un petit synclinal qui s'enfonce sous le Tithonique, au contact duquel elles se retroussent légèrement; les bancs plongent approximativement de 45° vers l'Est; de plus, ils s'élèvent en direction vers le Sud. La coupe de cette carrière est la suivante, de haut en bas :

a) *Tithonique* supérieur du flanc normal du synclinal (toit) :

1° Calcaire grossier : calcaire bleu spathique à débris d'Huîtres, ayant fourni des Ammonites jurassiques;

2° Calcaire gris ou brun, compact, dur, à cassure conchoïdale un peu brillante. Au microscope, la pâte en est de calcaire granuleux, avec des Foraminifères (Rotalidés, Textilaridés, rares Calpionelles). L'analyse y décèle une teneur en argile oscillant de 12 à 17 %.

b) *Berriasien* :

3° Banc de pierre à ciment d'une puissance de 10 mètres. C'est un calcaire bleu, se rayant facilement à l'ongle, à pâte assez homogène, à cassure mate, contenant 21 à 22 % d'argile en moyenne.

En certains points, on a pourtant dosé autrefois 24,50 à 26 % d'argile. On y récolte des Ammonites (*Hoplites Boissieri*) fréquemment écrasées et le microscope montre une pâte calcaire finement granuleuse, riche en matière organique, noire, renfermant quelques rares Foraminifères, dont de petits corps en forme de cloche que l'on désigne sous le nom de Calpionnelles et qui se trouvent fort répandus dans certains faciès du Jurassique supérieur, où ils y sont en compagnie de Radiolaires.

c) *Tithonique* (mur) :

4° Calcaire pur, blanc ou jaune clair, à taches bleues ou roses, contenant 0,5 à 0,1 % d'argile. On y trouve des Ammonites, des Belemnites, des Spongiaires siliceux et l'examen microscopique de la pâte met en évidence des Radiolaires et des spicules d'Eponges.

Les galeries d'exploitation sont étagées latéralement suivant le pendage des bancs; elles sont parallèles en direction et réunies les unes aux autres par de petits couloirs qui ménagent entre eux des piliers de 11 mètres de diamètre environ. Le remblayage n'existe pas, mais il est indispensable de bien constituer les piliers aux distances indiquées. L'épaisseur du banc exploité est en moyenne de 10 mètres; il est généralement homogène et de composition chimique constante dans toute son épaisseur. Cependant, dans une des carrières de Bellecombette, le bon banc est séparé en deux masses à peu près égales par un petit lit de quelques centimètres, plus dur, et ne contenant que 12 à 15 % d'argile. Chose intéressante, cette diminution d'argile au profit de la teneur en calcaire¹ marche de pair avec l'augmentation des micro-organismes et notamment des Calpionelles qui pullulent, alors qu'elles sont rares au-dessus et au-dessous du lit en question.

Les infiltrations d'eau sont fréquentes, mais peu abondantes.

Les produits abattus au pic ou au marteau pneumatique sont déversés sur soles inclinées et tombent dans des wagonnets qui les conduisent directement à l'usine.

Sous l'habile direction de MM. Chiron, l'exploitation des pierres à ciments de Montagnole a pris un essor considérable. Le chemin de fer à crémaillère a été remplacé par un câble transbordeur qui réunit directement les carrières à l'usine du Vernay, près Chambéry. Les matériaux sont concentrés au point de départ du câble où s'opère le concassage.

D'après Barbier, les pierres à ciment de Montagnole étaient déjà activement exploitées autrefois et fournissent d'excellentes chaux hydrauliques. Rappelons que ces gîtes sont situés sur le même horizon stratigraphique que les célèbres gisements de la Porte de France, près Grenoble, lesquels sont, en moyenne, plus riches en argile (25 %) et donnent des ciments plus prompts.

¹ Et sans doute de la silice.

Le Berrias de Montagnole se prolonge jusque dans la vallée d'Entremont, où il pourrait être exploité.

Aux exploitations de Montagnole est annexée l'usine de Vimines, près du pont Saint-Charles, qui traite des pierres à ciment extraites à Montagnole. Elle fabrique, d'après Badoureau, des ciments moyennement cuits (prompts), surcuits (demi-prompts et portland naturels), surcuits mélangés à des graviers de Saint-Alban (portland artificiel).

On emploie beaucoup actuellement, dans les usines à ciment de Chambéry, certains laitiers de haut-fourneaux pour la confection de produits spéciaux à prise lente.

Pierres à ciment du Mont du Chat, de Saint-Jean-de-Chevelu.

— C'est le terrain argovien qui est ici exploité. Les bancs ont un pendage de 65° environ vers l'Est et une direction de 20° Nord-Est. Le calcaire peut contenir jusqu'à 25 et même 30 % d'argile, d'après Badoureau. Les carrières s'étagent sur le versant occidental de la montagne, à 800 mètres environ du col. Enfin, il existe encore des exploitations de pierre à ciment à Chanaz. Cette localité fournit aussi des matériaux aptes à la fabrication des chaux hydrauliques (Oxfordien) et des chaux grasses (Séquanien).

Production. — D'après le rapport du Service des Mines relatif à l'année 1923, la production totale de pierres à ciment (Montagnole, Vimines, Saint-Jean-de-Chevelu, Chanaz), qui s'élevait à 37.000 tonnes en 1922, a atteint 68.500 tonnes en 1923.

Pierres à chaux. — Les pierres à chaux grasses sont exploitées, en Savoie, dans les localités de Chambéry, Montricher, Saint-Martin-la-Porte, Bozel, Saint-Pierre-d'Albon. En 1923, il en a été extrait 30.626 tonnes contre 29.461 tonnes en 1922.

Les pierres à chaux hydrauliques proviennent de Saint-Michel, Leysse, Saint-Jean-de-Chevelu; la production a été de 8.008 tonnes en 1922 et de 9.700 tonnes en 1923.

2° HAUTE-SAVOIE. — En Haute-Savoie, l'exploitation des pierres à ciment est moins importante; cependant l'étage berriasien fournit, à la cascade d'Arpennaz, non loin de Sallanches, des matériaux estimés.

A Sévrier, les bancs de calcaire sénonien donnent d'excellentes chaux hydrauliques. L'analyse de ces calcaires a été faite autrefois par Numa Serand et a donné :

Carbonate de Ca.....	84,75
Argile.....	11,25
Fer et un peu d'alumine.....	1,33
Carbonate de Mg.....	1,00
Perte.....	2,25
	<hr/>
	100,00

Les produits obtenus sont moyennement hydrauliques. L'aspect de la roche est celui d'un calcaire marneux jaunâtre ou bleuté, à cassure conchoïdale terne, à grain fin. On y trouve de nombreux fossiles caractéristiques (*Pachydiscus*, *Belemnites*, *Micraster*, *Ananchytes*, *Inocérames*). Au microscope, on distingue, dans un ciment calcaire finement granuleux, des Foraminifères peu abondants et généralement de petite taille (*Fissurines*, *Globigérines*, *Textilaires*, *Rosalines*, *Lagena*). La prédominance du ciment sur les micro-organismes est ici des plus nettes.

A Saint-Gingolph, dans la zone du Chablais, on exploitait des pierres à chaux hydrauliques et grasses. De même à Armoy, où l'on fabriquait des chaux hydrauliques magnésiennes à l'aide de calcaires contenant 8,17 et 7,05 % d'argile, 50,25 et 50,36 % de carbonate de chaux, 40,95 et 41,99 % de carbonate de magnésie.

Les meilleures pierres à chaux grasses sont constituées par les bancs du calcaire urgonien, si abondant dans les zones subalpines. L'analyse de ces calcaires montre leur grande pureté; la teneur en carbonate de chaux est en moyenne de 98 à 99,50 %, celle du carbonate de magnésie de 0,300 à 1,30 %; il y a de 0,16 à 0,26 % de silice et 0,14 à 0,33 % de Fe²O³, ainsi

que des traces d'alumine. C'est un calcaire zoogène blanc, dur, parfois subcrazeux, riche en coquilles de bivalves spéciaux, actuellement éteints, connus sous le nom de Rudistes. Ce sont des récifs de Rudistes fossiles. Le microscope y décèle une structure complexe : débris de coquilles et de calcaires, oolithes, Foraminifères (Miliolidés surtout), algues calcaires, noyés dans un ciment clair très souvent recristallisé. Ces débris divers sont ici très abondants et constituent le fond de la roche. Ces calcaires étaient exploités, il y a quelques années, à la Puya, près d'Annecy, comme pierre à chaux grasse; actuellement, l'exploitation de ces mêmes calcaires est très active sur le haut de la ville, près du château des ducs de Nemours, mais l'utilisation en est différente.

Une carrière à laquelle sont annexés des fours puissants a été récemment ouverte aux Balmettes, près d'Annecy, dans les bancs du calcaire valanginien (marbre bâtard), lesquels fournissent une bonne chaux grasse analogue à celle que donnait le traitement des calcaires urgoniens. Les carrières des environs d'Annecy ont produit 4.750 mètres cubes en 1921, 18.700 en 1922; elles sont en pleine activité.

Les calcaires du Jurassique supérieur peuvent aussi donner d'excellents produits.

A Cons (près Faverges), on exploitait autrefois un lambeau de Jurassique supérieur siliceux, isolé sur le Flysch tertiaire (lambeau de nappe de charriage se rattachant au massif exotique de Sulens); on en faisait des chaux hydrauliques; l'exploitation va, paraît-il, reprendre.

Certaines carrières de pierres à chaux, comme celles de Samoëns par exemple, expédient actuellement presque exclusivement leurs produits en Tarentaise, en Maurienne et à Ugines, où ils sont utilisés dans la fabrication du carbure de calcium¹; à elle seule, cette carrière a fourni 2.533 tonnes en 1921.

¹ Traitée au four électrique avec de la bauxite, cette chaux donne le ciment électrofondu, produit à prise extrêmement rapide et qui résiste aux eaux séléniteuses.

Calcaires utilisés comme pierres de taille ou d'ornement. — Ces calcaires sont abondamment représentés dans les zones jurassiennes et alpines des deux départements et il est facile d'en suivre les affleurements sur la carte géologique à 1/80.000 pour la découverte de nouveaux gisements. Citons, parmi les plus importants, les calcaires liasiques de Villette¹ et de Le Bois, près de Moûtiers; du Ciex, en Tarentaise; du Châtelard, près de Bourg-Saint-Maurice; de Meillerie, en Chablais; les calcaires jurassiques de Montmailleur et de Mercury-Gemilly, dans les environs d'Albertville; de la Compôte, en Bauges; les calcaires tithoniques de Lémenc et de Curienne, près Chambéry; les calcaires jaunes valanginiens de Saint-Sulpice; les calcaires blancs cristallins urgoniens des environs de Chambéry, d'Aix-les-Bains, d'Annecy; enfin, les calcaires nummulitiques noirs et compacts des zones subalpines, etc., etc.

Certains de ces calcaires sont même suffisamment beaux et résistants pour être polis et devenir, sous le nom de marbre, des pierres d'ornementation très estimées dans la région². Le marbre le plus réputé en Savoie est celui qui est exploité près de Moûtiers, sous le nom de brèche violette de Villette, et dont on a extrait 300 tonnes en 1922.

Production. — En 1922, 13.039 tonnes, en 1923, 10.700 tonnes de matériaux sont sorties des carrières de Grésy-sur-Aix, Chambéry, Montmélian, Saint-Michel, Aix-les-Bains.

En Haute-Savoie, les 45 carrières de pierre à bâtir de Meillerie ont produit 24.800 mètres cubes en 1920 et 18.500 en 1921; l'exploitation diminue donc légèrement (presque toute la production part en Suisse). Les cinq carrières d'Étrembières ont

¹ Ces calcaires du Lias de Villette sont également utilisés comme pierre à chaux; ils donnent une chaux grasse de seconde qualité. Certaines parties renferment de la magnésie, ce qui a, paraît-il, empêché leur emploi par la fabrication de ciment électrofondu de Moûtiers.

² Cf. J. Révil, *Les marbres de la Savoie*.

fourni 7.500 mètres cubes en 1920 et 7.000 en 1921. Les trois carrières d'Annecy, 3.200 mètres cubes en 1920, 1.450 en 1921.

C. — Conclusions.

L'industrie des chaux et ciments est appelée à se développer grandement dans notre pays qui est riche en matériaux calcaires capables de donner, après cuisson, les différents produits réclamés par l'industrie de la construction. Indépendamment des pierres à ciments naturels si réputées qui se trouvent à l'état constant dans le Berriasien des chaînes subalpines et qui sont loin d'être exploitées dans leur totalité, il y a lieu de tenir compte du développement éventuel de l'industrie des ciments artificiels, dont le point de départ est constitué par des matières premières (calcaires purs, marnes, argiles) également très répandues en Savoie dans les mêmes zones. C'est dans les étages du Jurassique supérieur et du Crétacé que l'on devra surtout rechercher ces matériaux (Tithonique, Urgonien, Valanginien à faciès jurassien). Il sera utile de procéder à une étude géologique complète des points choisis, étude qui sera accompagnée d'essais et d'analyses précises des échantillons de roches dont les affleurements auront été préalablement repérés à l'aide de la carte géologique au 1/80.000.

La fabrication des chaux grasses, qui sont à base de calcaire pur, doit être aussi envisagée avec plus d'ampleur dans notre pays qui fournit, de ce point de vue, une excellente matière première, sous forme de calcaire urgonien. Malheureusement, ces calcaires affleurent rarement à proximité des voies ferrées et il faut faire face à des frais de transport souvent élevés et prohibitifs. Citons cependant les affleurements intéressants des environs d'Aix-les-Bains, ceux de Duingt (lac d'Annecy), de la vallée de l'Arve en aval de Sallanches, de Cluses, etc.

Les industries électrochimiques, qui recherchent des calcaires purs dans le but de fabriquer du carbure de calcium, pourraient

en trouver à pied d'œuvre, dans les bancs un peu marbreux du Lias intra-alpin de Maurienne.

Quant aux calcaires dolomitiques, également recherchés par certaines industries électrochimiques, il n'y a pas grand espoir d'en découvrir d'excellents dans les Alpes de Savoie; les affleurements en sont rares et l'irrégularité de la teneur en magnésie, ainsi que l'absence d'homogénéité de leur masse empêchent leur utilisation. Toutefois, les recherches devraient être dirigées vers le Trias des zones intra-alpines et dans le Crétacé inférieur des zones subalpines, lequel renferme, en certains points (Alpes d'Annecy), des épisodes dolomitiques dans l'Urgonien.

III. — ARDOISES.

A. — Généralités.

a) DÉFINITION. — On peut définir une ardoise une roche homogène à pâte formée d'un mélange d'argile, plus ou moins chargée de petits quartz clastiques et de mica (d'où son aspect lustré), et qui est devenue régulièrement schisteuse, par suite de mouvements orogéniques puissants. Une ardoise est donc un schiste fin se débitant en feuillets minces, réguliers, plans.

Cette définition répond surtout aux ardoises d'Angers, de l'Ardennes, ainsi qu'à quelques types de Savoie (ardoises carbonifères de Cevins); mais, dans la majorité des cas, les schistes ardoisiers de Savoie seront des schistes argileux très chargés en calcaire (ardoises de Maurienne, Lias et Nummulitique).

b) CARACTÈRES PHYSIQUES. — La couleur des ardoises est noire, grise ou même violette (Fumay). La dureté est en moyenne de 3, mais elle varie de 2 1/2, ou même 2 (Servoz), à 4 1/2. La densité moyenne est de 2,8; elle oscille entre 2,7 et 2,9. D'autres caractères qui interviennent dans l'évaluation d'une ardoise sont la porosité et la gélivité.

Une bonne ardoise se présente comme un schiste argileux bleu, sonore, très régulièrement fissile; elle ne doit pas blanchir à l'air. Sa pâte doit être compacte, absente d'impuretés et notamment de pyrite, sa porosité et sa gélinivité nulles. Enfin, un caractère intéressant, et qui a été mis en évidence par l'ingénieur Despine, consiste en l'absence, à leur surface, de mousses et de lichens.

c) CARACTÈRES CHIMIQUES; COMPOSITION DES ARDOISES. — Elle est très variable. Voici, à titre de comparaison, un tableau qui réunit les analyses chimiques de quelques principaux types d'ardoises.

On pourra se rendre compte, d'après ce tableau, que: la teneur en silice (SiO²) oscille de 50 à 61 %; dans quelques cas, elle peut atteindre 73 %; la teneur en alumine (Al²O³) varie entre 3,85 et 25 %, mais elle peut atteindre 35 % et la moyenne est en général de 20 %; la teneur en potasse (K²O) est toujours plus élevée que la teneur en soude (Na²O) et la teneur en carbonates augmente considérablement pour les ardoises liasiques et éocènes.

Analyses (d'après Radian¹) de quelques schistes ardoisiers de Savoie et de localités types.

	SILURIEN		DÉVONIEN		CARBONIFÈRE			JURASSIQUE			ÉOCÈNE		
	Ardoises d'Angers		Ardoises de l'Ardenne		Outre-Rhône (Valais)	Salvan (Valais)	Servoz (Savoie)	(Lias) Petit-Cœur (Savoie)	(Lias) La Chambre (Savoie)	(Oxfordien) Morzine (Haute-Savoie)	(Nummulitique) Pfäfers (St-Gall)		
Durété.....	2,5 à 3		3		3	3	2 à 2,5	2 à 3 1/2	2 à 2 1/2	3	2 1/2		
Densité.....	2,790		»		2,752	2,799	2,754	2,660	2,651	2,676	2,783		
SiO ²	50,23		57,92		61,62	60,72	50,17	21,31	40,38	35,06	44,44		
Al ² O ³	24,89		18,32		22,21	22,14	24,34	4,23	16,08	3,85	15,43		
Fe ² O ³	6,98		9,02		1,97	»	1,69	1,05	1,77	0,41	0,47		
FeO.....	3,19		2,83		2,48	5,62	6,49	4,36	2,19	1,23	4,55		
FeS ²	0,41		»		0,20	0,47	0,78	1,74	2,16	1,07	0,92		
CaO.....	0,72		1,04		0,74	0,68	1,97	36,22	16,62	29,90	13,66		
MgO.....	2,08		1,86		0,87	0,97	1,24	3,20	2,85	1,50	2,13		
K ² O.....	4,09		3,91		5,04	4,74	5,32	1,77	2,86	1,40	3,51		
Na ² O.....	1,81		2,09		1,50	2,44	0,64	0,53	0,69	0,50	0,34		
C.....	0,99		0,56		0,69	0,98	5,15	CO ² : 27,20	12,76	23,95	10,79		
H ² O.....	0,22		0,17		0,17	0,14	0,90	0,09	0,28	0,22	0,25		
Perte au feu.....	4,64		2,66		2,91	2,26	1,25	1,81	2,91	1,67	3,55		
								CO ² Ca: 59,76 %	28,67 %	49 %	23,78 %		
								CO ² Mg: 1,65 %	0,90 %	2,01 %	0,90 %		

¹ J. Radian, Recherches sur la composition de quelques schistes ardoisiers de Suisse et de Savoie (thèse, Université de Genève, 1889).

Des analyses récentes d'ardoises de Savoie faites au Laboratoire d'électrochimie de la Faculté des Sciences de Grenoble ont donné les résultats suivants :

Pour une ardoise d'Hermillon (près Saint-Jean-de-Maurienne), provenant des terrains liasiques :

SiO ²	42,2 %.
Al ² O ³	11,3
CaO.....	19,5
Perte au feu.....	20

Pour des ardoises de Saint-Julien et Villargondran (Maurienne), extraites du terrain nummulitique :

SiO ²	32,6 %.
Al ² O ³	11,3 environ.
CaO.....	24,8
Perte au feu.....	25,4

B. — Application aux ardoises de Savoie.

Il résulte de ce qui précède que l'on peut, d'après le terrain où on les trouve, classer les ardoises de Savoie suivant les cinq catégories ci-dessous; ces catégories correspondent, en outre, à une variation dans la valeur de l'ardoise qui diminue à mesure que l'on s'élève dans la série des étages géologiques.

1° ARDOISES CARBONIFÈRES (Servoz, Cevins). — Elles sont siliceuses (50,17 % de SiO² à Servoz, la teneur en silice se rapproche donc beaucoup de celle des ardoises paléozoïques d'Angers, de l'Ardenne, du Valais), assez alumineuses, pas ou faiblement calcaires (1,97 de CaO à Servoz, 1,04 en Ardenne). Ces ardoises sont d'excellente qualité; le type peut être pris en Savoie, à Cevins, dont les produits ont acquis une grande réputation et des prix très élevés. Ces ardoises conservent en vieillissant leur teinte bleue; elles ne font pas effervescence à l'acide; elles ne se raient pas facilement à l'ongle et laissent, après cette opération, une poussière grise ou noire au point rayé.

Elles se rapprochent comme qualité de celles d'Angers, de Fumay, sans toutefois les égaler entièrement.

2° ARDOISES TRIASIQUES. — Ce sont des schistes roses ou violacés engagés dans le Trias supérieur des environs de Villarly (Trias type zone des Aiguilles d'Arves) et exploités par la commune. D'après les habitants, ces schistes fournissent des ardoises presque aussi résistantes que celles de Cevins. Elles contribuent à donner à la localité de Villarly son aspect pittoresque et coloré. Malheureusement, la qualité de schistes pouvant être utilisée comme ardoise n'est connue qu'à Villarly et le développement de cette industrie ne peut guère être envisagé.

3° ARDOISES LIASIQUES (Saint-Colomban-des-Villard, Saint-Alban-des-Villard, Hermillon, La Chambre, etc.). — Elles sont beaucoup moins siliceuses que les précédentes (21,31 % à Petit-Cœur, 42,2 % à Hermillon), faiblement alumineuses (4,33 à Petit-Cœur, 11,3 à Hermillon), assez fortement calcaires (36,22 de CaO à Petit-Cœur; mais, il est vrai, 19,5 seulement à Hermillon, ce qui est une teneur faible pour des ardoises calcaires). Elles sont de qualité passable, font effervescence à l'acide, blanchissent en vieillissant et se raient en abandonnant généralement une poussière blanchâtre ou grisâtre.

4° ARDOISES OXFORDIENNES (Morzine), qui se rapprochent beaucoup de celles du Lias et en particulier de celles de Petit-Cœur (silicates de chaux et de magnésie abondants dans ces deux types). Elles sont riches en calcaire et blanchissent, mais sont assez estimées.

5° ARDOISES ÉOCÈNES (NUMMULITIQUES) (Saint-Julien, environs de Saint-Jean-de-Maurienne, Villargondran, etc.). — Elles sont en général moins siliceuses, moins calcaires et plus argileuses que les précédentes. La perte au feu est souvent très élevée pour ces ardoises, ce qui indique une assez forte proportion de gaz carbonique (CO²), de matières volatiles et d'eau. Cette perte au feu est au contraire très faible pour les produits d'Angers (4 %), de l'Ardenne (2 %), du Valais (2 %), de Servoz (1,25 %). Ces ardoises du Flysch nummulitique sont en général de mé-

diocre qualité. Comme les précédentes, elles se recouvrent d'une pellicule blanchâtre de calcaire à l'air, font effervescence à l'acide et se raient en donnant une poussière blanche. Il est vrai que la croûte de calcaire qui se forme à la surface et qui donne un aspect poussiéreux si spécial aux villages recouverts de ces ardoises peut parfois préserver l'ardoise elle-même contre les intempéries; ce n'est donc pas là un défaut essentiel.

6° RÉPARTITION GÉOLOGIQUE DES ARDOISES EN SAVOIE. — Les ardoises du Carbonifère se trouvent dans les bandes houillères sur lesquelles nous avons tant insisté dans le chapitre consacré aux anthracites et, d'une façon spéciale, dans la zone des Rousses comprise entre la zone plus externe de La Mure et la grande zone axiale de Maurienne et de Tarentaise. On y voit, comme à Cevins, de minces bandes anticlinales de Carbonifère pincées dans les schistes cristallins du massif de Belledonne, parfois assez étendues en direction, mais souvent de faible puissance et à des altitudes très élevées. Cette même zone renferme, plus au Nord, des schistes ardoisiers à Servoz.

C'est dans la zone sédimentaire, dite de couverture des massifs cristallins, et située à l'Est de l'axe de Belledonne, que se trouvent les ardoises du Lias et dans le niveau de cette formation que l'on désigne précisément sous le terme de Lias schisteux. Cette bande de Lias se poursuit depuis le Dauphiné (vallée de l'Olle) jusqu'au col du Bonhomme (massif du Mont-Blanc), sans interruption. Les exploitations de Saint-Colomban-des-Villards, Sainte-Marie-de-Cuines, La Chambre, Hermillon, sont échelonnées dans cette zone qui passe au niveau de Saint-Jean-de-Maurienne et du col de la Madeleine, à Doucy, à Petit-Cœur et Naves, en Tarentaise, et jusqu'au delà de Flumet.

Une mention spéciale doit être faite des gisements oxfordiens des nappes du Chablais. On sait que, dans cette région, le Jurassique exotique est constitué par deux complexes de brèches (brèche supérieure = Malm; brèche inférieure = Dogger), séparés par les schistes ardoisiers de l'Oxfordien, exploités d'une façon intense à Morzine.

Enfin, la grande zone synclinale tertiaire, qui borde la zone du Briançonnais vers l'Ouest et que nous avons appelée zone du Flysch, précisément parce que les sédiments tertiaires d'âge nummulitique y sont très développés, contient sur presque toute son étendue des schistes ardoisiers exploités à l'Est de Saint-Jean-de-Maurienne, à Saint-Julien, Villargondran, Montricher, etc.

C. — Principaux gisements d'ardoises.

a) ARDOISES DU HOUILLER. — L'exploitation la plus ancienne et la plus célèbre est celle de Cevins, en Tarentaise, dont sont sortis des milliers d'ardoises d'excellente qualité. D'après Vernehl (*Statistique de la Savoie*), ces « ardoises sont d'un très beau bleu, légères, sonores, inaltérables à l'air, imperméables à l'eau ».

Elles durent des siècles et l'exemple que l'on cite toujours pour prouver leur inaltérabilité est celui de la vieille prison d'Etat de Miolans qui en était recouverte et que le génie sarde débita, vers 1850, en les faisant passer pour des produits neufs. Aujourd'hui encore, on achète de préférence des ardoises de Cevins provenant de la démolition des maisons plutôt que des ardoises neuves.

La bande de Carbonifère qui passe au niveau de Cevins (montagne de Prabellin, La Bathie), et dans laquelle se trouvent les schistes ardoisiers, est très étroite et de direction Sud-Ouest-Nord-Est; elle est coincée dans les schistes cristallins de Belledonne et parfois intimement mêlée au Lias schisteux qui, lui aussi, renferme des ardoises de qualité nettement inférieure à celles de Cevins et qui s'en distinguent aisément par les caractères différentiels énumérés plus haut.

Les produits de Cevins se vendaient fort chers et l'exploitation, qui a duré pendant très longtemps, a dû être finalement presque abandonnée à cause de l'altitude élevée de la mine, qui se trouve à près de 2000 mètres, et du peu d'épaisseur de la couche exploitée.

L'exploration n'en pourrait être reprise qu'avec l'aide d'un câble d'évacuation¹, et encore faudrait-il que cette installation fût justifiée par une extraction importante et rémunératrice. Le travail ne pouvant se faire que pendant la belle saison, au moment où la main-d'œuvre locale est occupée ailleurs, il serait nécessaire de faire venir des ouvriers étrangers et de les fixer dans le pays par la création de maisons ouvrières. De telles dépenses ne pourraient être engagées que par un groupe financier important. A Servoz, le Houiller du Brévent a fourni des ardoises noires, de durée variable, gardant leur couleur bleue avec le temps. Leur pâte est homogène, fine et tache les doigts. Au Coupeau, au Nord des Houches, des ardoisières souterraines peu importantes dans le Houiller, qui avaient été remises en exploitation en 1919, ont été arrêtées en 1920.

Tous ces produits sont analogues à ceux de Vaulnaveys (Isère).

b) ARDOISES DU LIAS. — Les plus connues sont celles qui sont exploitées à Saint-Colomban-des-Villards et en général dans la Combe des Villards, à La Chambre, à Allemont, en Maurienne. Non loin de là, on trouve, à Hermillon, des produits de qualité supérieure à ceux de ces localités.

Les calcaires argileux du Lias de Petit-Cœur fournissent aussi des ardoises gris-noirâtre. A La Chambre, d'après Radian, ce sont des schistes argilo-calcaires contenant un peu de carbonate de magnésie et de la pyrite, passablement légers, sonores et de toucher assez lisse. L'exploitation se fait par carrière souterraine, soit à ciel ouvert. Les ardoises de la cathédrale de Saint-Jean-de-Maurienne sont des ardoises extraites du Lias des environs.

c) ARDOISES DE L'OXFORDIEN. — C'est dans les Préalpes du Chablais que sont localisées les exploitations de ces ardoises. Citons les localités de Morzine, Taninges, Montriond, etc.

¹ La gare d'expédition actuelle est celle de La Bathie.

Morzine est le centre le plus important de la production.

Les schistes ardoisiers, ainsi que nous l'avons dit, séparent les deux masses de brèches jurassiques et déterminent, au Nord-Est de Morzine, une vallée dans laquelle se trouvent des carrières très nombreuses. D'après Badoureau, la succession des fronts d'exploitation est la suivante, de haut en bas; les ardoises alternent avec des assises de calcaires :

Petit banc de 1 m. inexploté.
Stérile 5 m.
Banc de 2 m. 50
Stérile 7 m.
Gros banc 5 m.
Stérile 20 m.
Banc des Lanchettes, 2 m.

Ces couches sont dirigées Nord 25° Est, avec un pendage de 15 à 20° Nord-Ouest. L'exploitation est dangereuse et nécessite une surveillance sévère. En 1898, on a produit 3.433 milliers d'ardoises de 19 x 27 cm. En 1902, les ardoisières communales en ont produit 1.684 milliers, sans compter la production privée¹. Il est certain que l'exploitation des ardoises de la région de Morzine est appelée à un grand développement; leur production est en croissance chaque année; en 1924, elle a atteint 1.925.000 tonnes.

d) ARDOISES DU FLYSCH. — Elles s'exploitent dans la zone du Flysch qui passe à l'Est de Saint-Jean-de-Maurienne. Ce grand synclinal nummulitique est enserré et même chevauché vers l'Est par des plis couchés de Lias. Ces schistes ardoisiers du Flysch sont plus argileux que ceux du Lias, lesquels sont plus calcareux (Lachat).

D'après Badoureau, les couches exploitées sont dirigées Nord 40° Est et ont un pendage de 38° Sud-Est; le plongement de la schistosité est de 28° Sud-Est.

¹ D'après Mortillet, le château de Chillon est couvert de ces ardoises.

Les exploitations sont nombreuses et éparpillées le long de la zone du Flysch, mais surtout en Maurienne. Citons : Montricher, Saint-Julien, Mont Denis, Villargondran. Les ardoises qui sortent des usines comprennent 12 dimensions.

A Saint-Julien, à 6 km. de Saint-Jean-de-Maurienne, l'exploitation est toujours active. Les ardoises sont assez belles; Morillet dit, d'après Barelli, qu'elles durent 40 ans dans les endroits secs, mais qu'elles s'usent rapidement dans les endroits humides. D'après Despine, cette durée serait très variable et oscillerait entre un siècle et 15 ans.

L'exploitation se fait par galerie, au-dessus de Saint-Julien, dans des schistes du Flysch inclinés à 60° environ.

D. — Etat actuel de l'exploitation ardoisière en Savoie.

En Haute-Savoie, les 20 carrières souterraines d'ardoises de Morzine ont produit 2.124 milliers d'ardoises; les 4 carrières du Châtel, 64 milliers en 1921. La production est donc en progression constante; elle a passé par les chiffres suivants : 154 milliers en 1918, 748 en 1919, 2.188 en 1920. Le prix était de 26 francs le mille en 1914, a atteint 125 francs (Châtel et Morzine) et 200 francs (les Posettes) en 1920 et 1921.

En Savoie, la production poursuit également une courbe ascendante très nette : 66 carrières actives en 1922, 82 en 1923; 26.962 milliers d'ardoises ont été fabriqués en 1922 contre 33.189 en 1923, dans les localités de Saint-Julien, Montricher, Saint-Colomban, Châtel, Flumet.

La production des ardoisières de Haute-Savoie est en augmentation constante et n'avait jamais été si florissante : 154 milliers en 1918 (Morzine, Chamonix [les Pesettes], Châtel, Servoz) contre 3.352 en 1922. Le prix moyen est monté de 26 francs (1914) à 125-200 francs (1921). Une grande partie de ces produits est actuellement expédiée dans les régions dévastées du Nord de la France; par contre, la Savoie importe des ardoises de l'Anjou!

E. — Conclusions.

Les ardoises de diverses qualités sont donc très répandues en Savoie. Les ardoises du terrain houiller (Cevins) étaient aussi estimées que celles d'Angers; malheureusement, les difficultés d'accès du gisement ont arrêté l'exploitation qui ne pourrait être reprise que sur des bases plus sérieuses et avec un outillage perfectionné.

Les schistes ardoisiers que livrent les terrains liasiques, oxfordiens et nummulitiques (Flysch), tout en étant de qualité inférieure aux ardoises d'Angers et de Cevins, donnent lieu à un commerce important.

Les ardoises du Flysch sont les plus mauvaises de toutes et s'effritent parfois avec une facilité déplorable.

Des recherches de détails sur le terrain, faites dans les zones intra-alpines, pourraient peut-être faire découvrir de nouveaux affleurements de Houiller situés à proximité des voies ferrées et susceptibles de fournir des ardoises analogues à celles de Cevins, mais d'accès plus commode. Il semble que c'est dans cette direction seulement que l'on puisse chercher le développement rationnel et vraiment rémunérateur de l'industrie ardoisière des Alpes de Savoie.

IV. — GYPSE.

Le sulfate de chaux est certainement une des matières les plus répandues dans les Alpes de Savoie; sous forme anhydre (anhydrite) ou hydratée (gypse), il constitue un des éléments les plus constants et les plus caractéristiques du terrain triasique de la Maurienne et de la Tarentaise. On trouve aussi des gypses dans le Trias de la zone exotique des Préalpes, notamment en Chablais et en Faucigny. Certains bancs de l'Oligocène tout à fait supérieur ou de la molasse aquitanienne renferment,

dans la zone mollassique de Savoie, quelques petits lits de gypse fibreux très purs et d'excellente qualité, autrefois exploités pour la fabrication du plâtre et pour l'amendement.

A. — Principaux gisements.

a) GYPSE DES ZONES INTRA-ALPINES. — En Maurienne, la région de Saint-Jean-de-Maurienne est riche en affleurements de gypses triasiques; citons, en particulier, la vallée de l'Arvan, où les bancs de gypses inclinés à 17° Sud-Est et recouverts de Lias sont activement exploités par la Société des plâtrières de Savoie. Ces gypses, ainsi que ceux d'Arvillard, la Table, La Rochette, sont dans la zone sédimentaire de couverture des chaînes cristallines et de part et d'autre du massif de Belledonne; ils fournissent, après traitement, un plâtre blanc très pur; ils sont compacts, en bancs épais. Citons encore, pour la Maurienne, mais au delà de la zone houillère, les gîtes des environs de Modane, de Lanslebourg, du Mont-Cenis, de Randens, où l'on extrait une variété rouge de gypse donnant une sorte de plâtre-ciment.

Plus au Nord, en Tarentaise, les gypses sont également abondants, mais beaucoup moins exploités. Citons cependant les localités de Notre-Dame-du-Pré, Villarlurin, les Avanchers, Saint-Martin-de-Belleville, Pralognan (montagnes de gypse et verrou de gypse, dans le fond même de la vallée), Bozel, Sées, Aimé et Brides.

A Aime, dans la bande synclinale de Longefoy, existe une carrière qui pourrait être plus activement exploitée. Toute la région comprise entre Centron et Moutiers pourrait, le cas échéant, donner lieu à une exploitation aussi importante que celles de Maurienne¹.

¹ Une carte au 1/10.000 des gypses et cargneules du Trias des environs de Brides-les-Bains est donnée dans l'ouvrage de W. Kilian et J. Révil, *Etudes géologiques dans les Alpes occidentales*, t. II, pl. IX.

Le gypse de ce Trias intra-alpin est généralement en gros bancs compacts, mais il est aussi très souvent bouleversé, bréchoïde, avec des inclusions de galets dues à des phénomènes mécaniques locaux. On sait, en effet, que l'hydratation de l'anhydrite provoque le boursoufflement des couches et peut ainsi être l'origine d'éboulements dans les galeries souterraines, qui rendent les travaux difficiles. D'autre part, la dissolution des gypses par les eaux d'infiltration peut donner lieu à la formation de poches et, par suite, d'effondrements. Le premier canal de prise d'eau construit pour l'usine de la Volta s'est ainsi écrasé, par suite de la formation de telles cavernes de dissolution au passage dans une couche de gypse qu'on avait imprudemment négligée.

La production en gypse (pierre à plâtre) des principaux groupes de carrières de Savoie (8 carrières souterraines, 5 à ciel ouvert à Saint-Jean, Montvernier, Salins) a atteint 49.300 tonnes en 1923 contre 33.010 tonnes en 1922; elle tend donc à se rapprocher de celle d'avant-guerre, qui était de 60.000 tonnes.

b) GYPSES DES ZONES PRÉALPINES (Faucigny, Chablais). — Ces gypses sont inclus dans le Trias des massifs exotiques des Préalpes, lesquels reposent sur le Flysch tertiaire.

Partout où affleure ce Trias (de type Briançonnais-Maurienne), on trouve du gypse, notamment à La Chapelle, Reyvroz, La Vernaz, Draillant, Vacheresse etc. Mais la localité la plus connue est celle d'Armoy, sur la Dranse, à quelques kilomètres au Sud-Ouest de Thonon. Les bancs de gypse affleurent sur les deux rives de la Dranse; ils sont très abondants, blancs et compacts et fournissent, d'après Mortillet, une qualité de plâtre supérieure aux produits de Suisse. Mais le développement de cette industrie a été quelque peu arrêté par la concurrence des gypses de Maurienne; en 1922, les deux carrières exploitées en ont produit 3.095 tonnes contre 2.670 en 1920 et 1.800 en 1921.

On retrouve des affleurements de gypse aux environs de Seraval, où ils sont peu importants; ces gypses sont associés aux

calcaires dolomitiques du Trias et forment la base du massif de Lias de la montagne de Sulens, laquelle repose sur un substratum tertiaire. Bien que situé en pleine zone subalpine, ce gypse n'en fait pas partie; on se rappelle que Sulens, comme le massif des Annes, sont des lambeaux de nappes de charriage qui doivent être rattachés au massif des Préalpes, situé plus au Nord. L'exploitation, aujourd'hui disparue, de Saint-Sigismond était dans des conditions de gisement analogues.

c) GYPSES DE LA MOLLASSE. — Ce gypse forme à la base de la mollasse quelques filonnets de 1 à 2 cm. assez rapprochés et sur une épaisseur de quelques mètres. Certains lits peuvent atteindre 0 m. 45 et parfois 1 m. 50.

C'est surtout dans la zone mollassique comprise entre Saint-Julien-en-Genevois et Seyssel que se trouvent les principaux affleurements : Desingy, Marlioz, Contamines-sur-les-Usses, etc.

A Marlioz, les affleurements se voient encore nettement dans le lit d'un petit ruisseau qui descend vers les Usses. En 1922, j'ai pu relever la succession suivante :

1° A la base, marnes roussâtres et bleuâtres, avec lits de gypse fibreux de 1 cm., espacés de 0 m. 20 à 0 m. 50. Vers le haut, les couches de gypse sont de plus en plus fréquentes;

2° Alternance de marnes et de bancs gréseux grossiers, avec lits de gypse;

3° Marnes bleuâtres à *Cypris*;

4° Banc de grès grossier très dur, formant corniche de 0 m. 80 environ, exploité comme pierre de construction.

Les ouvertures des galeries de l'ancienne exploitation sont actuellement bouchées par les éboulements. Les parties exploitées possédaient, paraît-il, 1 m. à 1 m. 50 et étaient formées d'alternances de gypse pur d'un blanc nacré, de gypse impur gris et de marnes roux clair. Les habitants le transformaient en plâtre pour blanchir leurs habitations; on s'en servait aussi comme amendement.

A Desingy, l'exploitation a été assez active à un moment donné; dans la carrière de Châtel et dans un banc de 1 m. 50, faiblement incliné vers l'Ouest, l'exploitation était souterraine et se faisait, d'après Badoureau, par la méthode des piliers; il existait un four à plâtre à Pontchâtel. Actuellement, tous ces gîtes sont d'un intérêt médiocre et ne méritent pas d'être repris.

Mais le fait géologique de trouver des faciès lagunaires avec gypse à la base de la mollasse, associés aux faciès bitumineux des environs de Frangy, constitue un argument pour considérer ces derniers comme d'origine primaire.

B. — Conclusions.

On peut dire que les accumulations de gypse de Maurienne et de Tarentaise sont considérables et vraiment disproportionnées avec les besoins de l'industrie (plâtre) et de l'agriculture (amendement). La plupart de ces gisements sont d'accès facile et normalement exploités en Maurienne; en Tarentaise, par contre, on s'en est encore fort peu soucié. On pourrait cependant y trouver, entre Centron et Moûtiers, des points convenables à exploiter et situés à proximité de voies d'évacuation. Cette condition est absolument indispensable, étant donné le prix assez bas du gypse. L'antracite étant à pied d'œuvre dans cette région, le traitement des pierres à plâtre pourrait s'effectuer d'une façon très économique, sur place. Il serait à souhaiter que les progrès de la chimie industrielle permettent à l'avenir de tirer un meilleur parti des gypses, si abondamment répandus dans les Alpes de Savoie, en leur trouvant de nouvelles applications¹. On pourrait ainsi intensifier leur exploitation.

Tant qu'il n'en est pas ainsi, les gypses du Chablais, du Faucigny, de Serraval, de par l'importance limitée de leur tonnage, sont destinés à succomber devant la concurrence des produits de Maurienne.

¹ Extraction du soufre (par réduction) ou même de l'acide sulfurique.

Quant aux gisements des plateaux mollassiques du Genevois, malgré la pureté des produits qui en sont sortis, il ne semble pas qu'ils puissent jamais être appelés à un avenir industriel quelconque et leur intérêt est purement géologique¹.

V. — AMIANTE².

L'amiante est actuellement très recherchée par l'industrie pour la fabrication des fibro-ciments et des tissus incombustibles. Il est donc intéressant de faire ici l'inventaire des gisements de Savoie et d'examiner les possibilités d'extension des exploitations existantes.

On pourra rechercher ce minéral dans les trois complexes métamorphiques de nos Alpes : schistes cristallins des massifs hercyniens, permo-houiller, schistes lustrés.

En fait, c'est le système des schistes lustrés qui a, jusqu'ici, fourni les seuls gîtes pratiquement exploitables. C'est donc par lui que nous commencerons.

a) AMIANTE DES SCHISTES LUSTRÉS. — On sait que les schistes lustrés forment une zone très caractéristique des Alpes et qu'en Savoie cette zone occupe la partie la plus orientale du département, celle qui avoisine avec l'Italie. Ce sont des calcschistes, des schistes quartzo-sériciteux, à pendage uniformément Nord-Nord-Est, de structure isoclinale et qui présentent, en certains points, des intercalations fréquentes de roches vertes de types divers (*pietre verdi* des géologues italiens), souvent altérées et transformées en serpentines. On trouve de telles serpentines dans les environs de Termignon et de Lanslebourg et entre ces deux localités, particulièrement sur la rive gauche de l'Arc, sur 6 km. environ de longueur.

¹ Toutefois, leur remise en valeur pourrait être tentée si les prix véritablement prohibitifs atteints de nos jours par les plâtres de Maurienne continuaient à se maintenir. (Note ajoutée pendant l'impression.)

² Les éléments de ce paragraphe m'ont été en grande partie fournis par M. J. Révil, que je suis heureux de remercier ici.

Ces serpentines sont en forme de grosses lentilles disposées suivant le sens de la stratification et l'amiante se trouve à la périphérie de ces massifs.

Plusieurs carrières sont en exploitation dans cette région depuis la guerre.

1° *Carrière de la Girarde.* — Cette carrière est située à 2 km. de Termignon, en contre-bas de la forêt d'Arc. La masse serpentineuse, dont le front est de 30 m. de longueur environ, est attaquée sur 25 m. d'épaisseur dans le sens du pendage des couches. La serpentine est très altérée, grenue, d'un blanc verdâtre, et mêlée en certains points aux poches d'amiante. On extrait donc le tout avec la plus grande facilité (10 tonnes en 1920 ?).

Les travaux se font actuellement à ciel ouvert; il serait préférable de faire un travers-banc pour le cas où l'on désirerait intensifier l'exploitation.

Un chemin muletier à améliorer conduit de l'exploitation à la route de Termignon. La distance de cette dernière localité à la gare de Modane est de 19 km. En 1920, les prix de transport étaient de 1 fr. 50 par 100 kilos.

2° *Carrière des Sallanches.* — Cette carrière est à 5 km. au Nord de Termignon. Elle occupe le versant montagneux qui domine le Villard et la plaine alluviale où coule le torrent d'Entre-deux-Eaux.

Le front de carrière est de 80 m., l'épaisseur de la couche attaquée de 50 m. et la serpentine s'y développe parallèlement aux couches. On en extrait une amiante plus largement fibreuse que celle de la carrière de la Girarde, les poches y sont aussi beaucoup plus grandes.

On traverse des affleurements de niveaux chloriteux et d'amiante le long de la route d'Entre-deux-Eaux, à quelques mètres du point où elle traverse le torrent des Sallanches. L'extraction a atteint environ 100 tonnes en 1920.

L'accès de cette carrière, située en région montagneuse, est



difficile : il y a 3 km. de route et 2 km. de chemin muletier. Pour obvier à cet inconvénient, il serait utile d'évacuer les produits extraits par un câble.

3° *Gisement de Corbassier.* — En ce point, exploré plutôt qu'exploité, les serpentines seraient, d'après M. Révil, au contact, ou même intercalées dans les schistes argileux du Trias supérieur renversés sous les schistes lustrés. Mais les recherches doivent être poussées dans ce dernier niveau. Là encore, la variété d'amiante extraite est fibreuse et d'assez bonne qualité.

L'accès de ce gîte est facile (2 km. de Termignon, bonne route).

4° *Exploitation de Lanslebourg.* — Cette exploitation, située à 50 m. de l'aval du pont de la Ramasse et sur la rive gauche de l'Arc, est la plus ancienne de la région. La masse serpentineuse, attaquée par trois galeries, fournit une amiante fibreuse en nombreuses et grandes poches. L'extraction aurait, paraît-il, été importante, mais elle pourrait facilement être portée à 200 tonnes.

Ces serpentines de Lanslebourg, ainsi que leurs amiantes, se retrouveraient aux abords de Lans-le-Villard.

5° *Bonneval.* — D'après Mortillet, on aurait signalé et même exploité autrefois, à Villeta, de l'amiante blanche et flexible. Il est probable que ce sont les mêmes conditions de gisements que précédemment qui se poursuivent jusqu'en ce point. Les masses de serpentines sont d'ailleurs très développées de Bessans à Bonneval et c'est là que les prospections doivent être dirigées.

6° *Conclusions.* — L'amiante que l'on extrait de la région de Termignon et de Lanslebourg (550 tonnes en 1922, 650 tonnes en 1923) est de qualité inégale.

La carrière de la Girarde fournit un produit grenu, très mêlé de débris de roches chloriteuses d'un vert pâle.

Ce mélange est broyé et utilisé comme lut et dans la fabrication des tissus incombustibles.

Les gîtes des Sallanches et de Lanslebourg donnent des produits plus purs, employés dans l'industrie des fibro-ciments; l'amiante est fibreuse (flosch), mais la fibre n'est pas très longue.

Il existe à Termignon et à Lanslebourg des moulins rudimentaires destinés à concasser et broyer les produits.

Le défaut des amiantes de la Haute-Maurienne réside en ce fait que la fibre du minéral se réduit trop aisément en fine poussière. La fibre est trop courte et trop cassante et cela influe sur les qualités du fibro-ciment. Il faudrait découvrir des amiantes plus soyeuses et plus tenaces, de façon qu'après broyage, il subsiste des fragments de fibres.

b) *AMIANTE DU PERMO-HOULLER.* — D'après Mortillet, on aurait trouvé en Tarentaise de très beaux échantillons d'amiante soyeuse, dans les environs de Sainte-Foy, où elle serait abondante; il y en aurait notamment à Saint-Germain, à l'Harbèche, à la Balme. De même, à Sééz, près du Petit-Saint-Bernard, et dans les environs de Bourg-Saint-Maurice, on connaît, d'après le même auteur, des affleurements d'amiante. Tous ces gîtes seraient à étudier d'une façon sérieuse, avant de tenter quoi que ce soit; il resterait d'ailleurs à préciser leur âge exact.

c) *AMIANTE DES SCHISTES CRISTALLINS DES MASSIFS HERCINIENS.* — Mortillet en signale à Saint-Colomban-des-Villards, probablement dans les schistes granulitiques de la zone de Belle-donne.

Les environs de Chamonix en ont fourni quelques échantillons.

L'amiante se trouve sur le pourtour des zones d'amphibolites qui affleurent dans le massif cristallin du Mont-Blanc, notamment à la cascade du Dard, près Chamonix, sur les deux berges de la Mer de Glace et sur l'éperon rocheux qui sépare le glacier des Bossons de celui de Tacconaz. Mais ces gisements sont peu importants comme quantité et qualité (fibre courte). Enfin, il en a été signalé au Dôme des Fontes et aux Grands-Mulets, mais pratiquement inaccessibles.

VI. — BARYTE.

Une carrière souterraine de baryte est exploitée temporairement aux Houches par M. François Payot. En 1920, elle a produit 15 tonnes de baryte, pendant deux mois de travaux, qui ont été livrés aux usines de Chedde. La production a atteint 280 tonnes en 1921 et 220 en 1922. Mais cette exploitation n'est pas appelée à un grand développement¹.

VII. — PHOSPHATES.

On exploitait, il y a quelques années, les phosphates sédimentaires de la Perte du Rhône. Ces phosphates consistent en coquilles et nodules, transformés en phosphate de chaux.

C'est le Gault (Crétacé moyen) qui est exploité (grès glauconieux); on en connaît les magnifiques fossiles phosphatés répandus dans toutes les collections.

Ces gîtes sont les analogues de ceux de l'Argonne et de l'Ardenne, actuellement tombés dans l'oubli depuis la découverte des phosphates de l'Afrique du Nord.

Le Gault de la région est toujours riche en fossiles et nodules, les uns et les autres phosphatés, mais il n'y a plus là matière à une exploitation quelconque, étant donnée l'épaisseur souvent minime (quelques centimètres) du béton phosphaté.

VIII. — FLUORINE.

Ce minéral, transformé en acide hydrofluosilicique, sert à consolider les mollasses tendres employées comme matériaux de construction. Il est, dans ce but, exploité dans le Massif Central. Dans les Alpes de Savoie, on en connaît en quantité appréciable à la Combe Nantuel, en Maurienne, où il pourrait être prospecté.

¹ Le sulfate de baryte est employé dans l'industrie de la papeterie pour couler le papier.

IX. — ARGILES A BRIQUES ET POTERIES.

L'argile utilisée en Savoie pour la confection des briques et des poteries est d'origine glaciaire.

Tous les gisements exploités sont d'anciennes moraines, plus ou moins remaniées, ayant appartenu aux glaciers issus des Alpes qui poussaient à un moment leur front jusqu'aux abords de Lyon.

Etant donnée leur origine, on les trouvera de préférence dans les grandes vallées longitudinales ou au débouché des dépressions transversales, c'est-à-dire là où les langues de glace ont persisté le plus longtemps. Les abords du Léman, la vallée de l'Isère, les vallées du lac d'Annecy et du lac du Bourget et toute la dépression mollassique comprise entre Annecy, Rumilly, Aix-les-Bains et Chambéry sont colmatées de boues glaciaires exploitées.

Propriétés d'une bonne argile à tuiles. — Une bonne argile à tuiles doit être homogène et posséder une pâte fine. Les impuretés volumineuses, comme les cailloux, doivent être éliminées parce qu'elles gênent le travail des malaxeurs. Si l'argile renferme en excès des grains calcaires, la pâte se boursofle et se fendille à la cuisson; un excès de silice, sous forme de petits grains de quartz, détruit l'homogénéité.

Il y a des argiles dites grasses et des argiles dites maigres. A ce sujet, et contrairement à ce que l'on croyait, des recherches récentes (L. Bertrand et A. Lanquine) ont montré qu'il n'existe aucune relation entre le caractère plus ou moins maigre ou gras d'une argile et les proportions relatives de SiO_2 et Al_2O_3 qu'elle contient. Certaines argiles riches en SiO_2 peuvent être, en effet, anormalement grasses du fait de l'état colloïdal de leur silice. D'autre part, les mêmes auteurs ont établi que la teneur en alumine d'une argile n'est aucunement un *criterium* absolu de sa fusibilité. Jusqu'ici, on ne considérait, en effet,

comme réfractaires que les seuls produits silico-alumineux ayant une haute teneur en alumine.

Telles sont les directives essentielles qui doivent guider les recherches de terres argileuses dans nos régions.

Les argiles de Savoie. — Les glaises de Savoie proviennent de la destruction des roches feldspathiques anciennes et des calcaires argileux alpins. Elles sont très alumineuses (argileuses), mais renferment cependant un peu de calcaire, de silice, d'oxyde de fer. Suivant la proportion de ces éléments, l'argile est de qualité plus ou moins bonne, de plasticité et de fusibilité différentes et donne de la terre à briques, à tuiles, à poteries ou à faïences.

Il est inutile d'entrer ici dans le détail des exploitations. Disons seulement que, pour le département de la Savoie, les trois carrières d'argile pour briques et tuiles (Lucey, Albens, Champagneux) ont produit 4.000 tonnes en 1922 et 4.450 tonnes en 1923; en Haute-Savoie, les deux carrières exploitées ont donné 4.250 mc. en 1922; dans ce département, le principal centre de production est Saint-Jorioz.

Notre Savoie est encore riche en argile à briques non exploitées. Les procédés de laboratoire récents (analyses micrographiques, essais physiques et chimiques) appliqués à ces produits permettraient sans doute de leur découvrir d'autres utilisations (matériaux pour ciments artificiels notamment). Mais il est une industrie qui doit être particulièrement encouragée, et c'est celle de la céramique.

L'industrie de la faïence, en effet, était autrefois très développée en Savoie et notamment à Hautecombe¹, à la Forêt-Saint-Ours, à Sainte-Catherine. Certains produits sortis de ces faïenceries sont fort beaux et très recherchés par les amateurs; les faïences fines de Saint-Ours sont mêmes citées dans l'ouvrage classique de Jacquemart sur la céramique. Plus tard, l'industrie

¹ Les argiles employées à Hautecombe provenaient de Tresserve et du Viviers.

des tuileries et des briquetteries a tout accaparé et seules quelques poteries isolées ont continué de cuire leurs vases aux émaux rustiques.

De nos jours, une heureuse innovation s'est produite dans la céramique locale et c'est vers la poterie vernissée artistique que se dirigent de plus en plus les efforts de nos artisans. De très belles pièces sont sorties des ateliers de Jacquet, de Béchard, de Nillavertas à Annecy, de Schlibbs, de Simonod à Cognin, et pour la confection desquelles le potier a mis à contribution non seulement la terre du sous-sol, mais aussi la flore et la faune du pays, dont il s'est presque toujours inspiré pour la décoration de son œuvre.

Souhaitons donc bonne chance à cet art doublement local de la « poterie savoyarde », puisqu'il continue, en la transformant d'une façon heureuse, une tradition réputée.

CHAPITRE V

Réflexions sur les sources minérales de Savoie.

La province de Savoie possède de nombreuses sources minérales auxquelles elle doit une bonne part de sa célébrité. Depuis le rapport rédigé par le chimiste Calloud en 1855, pour la collection des eaux minérales de Savoie destinées à l'Exposition universelle de Paris, et publié de nouveau en 1858, à l'occasion de l'Exposition de Turin, rien d'important n'a été ajouté à nos connaissances en ce qui concerne leur nombre, leur composition chimique, leurs propriétés thérapeutiques principales.

Aussi bien, renvoyons-nous dès maintenant le lecteur désireux de se documenter à la suite d'analyses et de notes dues à ce chimiste et qui se trouvent annexées à l'ouvrage bien connu de G. de Mortillet sur la *Géologie et la Minéralogie de la Savoie* (cf. Bibliographie).

Nous n'avons pas ici l'intention d'énumérer et d'étudier en détail toutes les sources minérales de Savoie. La Savoie en est si riche qu'un livre entier ne suffirait pas à décrire tous les types divers que l'on y rencontre; notre but est tout autre. Depuis quelques années, l'attention des savants a été sollicitée par l'étude de propriétés nouvellement découvertes chez les eaux minérales et qui se sont presque toujours montrées étroitement solidaires de leurs qualités thérapeutiques : nous voulons parler du phénomène de la radioactivité.

Ces recherches n'en sont qu'à leur début, mais il serait du plus haut intérêt que les méthodes mises en œuvre fussent systématiquement appliquées à toutes nos sources minérales,

de façon à en obtenir, de ce point de vue, un classement rationnel. Enfin, le débit considérable de certaines de ces sources, leur composition chimique complexe, leur thermalité élevée, ne sont plus en accord avec les théories primitivement élaborées pour en expliquer l'origine, et, là aussi, nous tiendrons compte des idées nouvelles qui se lèvent peu à peu.

a) Classement provisoire des sources minérales de Savoie.

Un bon classement de ces sources devrait faire intervenir les deux facteurs précédents; mais, comme l'étude n'en est encore qu'esquissée, nous conserverons l'ancienne division basée sur la composition chimique :

1° *Eaux alcalines* (zones externes) : Evian, Thonon, Saint-Simon, Coise, La Boisse.

2° *Eaux sulfureuses* (zones externes) :

Zone jurassienne : La Caille, Bromines, La Bauche.

Zone subalpine : Aix-les-Bains, Challes, Marlioz, Menthon-Saint-Bernard, Petit-Bornand, etc.

3° *Eaux salines* (zones internes) : L'Echaillon, la Léchère, Salins-Moùtiers, Brides, Bonneval, Saint-Gervais, etc.

Nous ne citons ici que les plus connues parmi ces sources. Leur composition chimique est, *grosso modo*, fonction de la constitution géologique des terrains qu'elles traversent; ainsi, les eaux alcalines sourdent le plus souvent des formations quaternaires, tandis que les eaux sulfureuses et salines sont généralement en relation avec les terrains secondaires. De même, leur température est en relation avec l'architecture profonde de ces terrains. On voit de suite que les sources dont les propriétés sont analogues se trouvent groupées dans les mêmes zones.

b) Radioactivité des sources minérales de Savoie.

Les propriétés radioactives des sources en général sont depuis longtemps connues et l'on sait maintenant que toutes les eaux contiennent en dissolution et en quantité plus ou moins grande des corps radioactifs, analogues à l'émanation du radium, dont elles se sont chargées pendant leur voyage souterrain.

C'est ainsi que les eaux de la Fontaine Saint-Martin, qui alimentent Chambéry, de même que toutes les sources minérales de Savoie, renferment de l'émanation du radium¹.

Les eaux des sources de Salins, Moûtiers, Brides, l'Echaillon sont, de ce point de vue, d'une richesse modérée; celles de Challes, de la Boisse, de la Bauche le sont encore moins.

Par contre, les eaux de la source d'alun (44°,5), à Aix, et de la Léchère sont remarquablement riches; l'eau de soufre (41°,5), à Aix, l'est également, mais sensiblement moins que les deux précédentes.

Cette émanation du radium se mesure par des procédés spéciaux²; elle est caractérisée par sa persistance. Au contraire, d'autres émanations, du type thorium ou actinium, disparaissent beaucoup plus rapidement, mais dans des temps donnés, connus (54 secondes pour le thorium, 3 secondes pour l'actinium pour une perte d'activité de moitié, alors que cette même déperdition s'effectue en 4 jours pour le radium).

Or, certaines sources, comme Salins, l'Echaillon, par exemple, objet des intéressantes études du baron G. A. Blanc, et, plus

¹ Blanc, La radioactivité des sources thermales de la Savoie et les substances qui en sont la cause (C. R. XVII^e Congrès des Soc. Sav. de Savoie, à Aix-les-Bains, 1906).

² Le principe de la méthode est le suivant: les corps radioactifs ont la propriété de rendre conducteurs les gaz, de les ioniser, partant de décharger les corps électrisés situés dans le voisinage. Par conséquent, la rapidité avec laquelle se déchargent ces corps mesure la conductivité des gaz et renseigne sur l'intensité du rayonnement émis par le corps étudié.

réemment, de MM. Cluzet et Chevallier¹, sont très radioactives parce qu'à la radioactivité produite par l'émanation du radium se superpose une autre radioactivité du type rapide dont le siège se trouve concentré dans les sédiments abondants déposés par ces eaux au griffon.

L'activité des sédiments de l'Echaillon et de Salins est due à un nouveau corps, découvert simultanément par le baron Blanc, en Savoie, et Hahn, en Angleterre, et auquel Ramsay a donné le nom de *radiothorium*.

D'autres sédiments, comme ceux de teinte grisâtre abandonnés par la source d'alun à Aix, possèdent également une activité décroissante; la barégine déposée par la même source est aussi très active et cela tient, d'après G. A. Blanc, au fait que les sels radioactifs en suspension ou en solution dans l'eau sont entraînés avec les substances qui précipitent au griffon par refroidissement. Mais ce sont là des émanations du type radium. Les recherches de G. A. Blanc ont attiré pour la première fois l'attention sur les propriétés radioactives des eaux thermales de Savoie, ainsi que sur celles des sédiments qu'elles déposent².

¹ Blanc, Sur la nature des éléments radioactifs contenus dans les sédiments des sources thermales de l'Echaillon et de Salins-Moûtiers (Congr. intern. de radiologie, Liège, 1905); Recherches sur un nouvel élément présentant les caractères radioactifs du thorium (Ac. dei Lincei, mars 1906). — Dr A. Chevallier, Recherches sur la radioactivité des sources de l'Echaillon. Contribution à l'étude de l'émanation du thorium, actions biologiques et thérapeutiques (thèse, Fac. Médecine de Lyon, 1923). On trouvera dans ce travail une bibliographie copieuse. Rappelons que la source de l'Echaillon est du type chloruré sodique, sa température est de 32° c., son débit de 600 m³ par 24 heures; elle sourd des fissures du granite de l'Echaillon.

² Voici les chiffres publiés par G.-A. Blanc concernant la radioactivité des sédiments ou dépôts des sources de Savoie (loc. cit.):

Sources	Nature du dépôt	Chute de potentiel en volts par heure
Echaillon	Sédiments rouges du Griffon.....	936
Salins (grande source).....		128
Salins (petite source).....		56
Aix-les-Bains (source d'alun). Barégine.....		19
Aix-les-Bains (source de soufre). Dépôt.....		5
Nitrate d'urane.....		5.752

L'étude de la radioactivité des gaz et des eaux de l'Echaillon, qui n'avait pas encore été faite, a donné à MM. Cluzet et Chevallier les chiffres suivants : un litre d'eau contient en solution 0,4 millimicrocuries d'émanation du radium; un litre des gaz spontanés issus des griffons renferme 11,5 millimicrocuries d'émanation du radium. Enfin, les résultats obtenus par ces auteurs relativement à l'activité des sédiments confirment ceux de G. A. Blanc.

Un des points intéressants des recherches de ces auteurs consiste en l'utilisation des sédiments de l'Echaillon comme producteurs d'émanations du thorium en vue d'une application thérapeutique. Cette émanation, ainsi captée, s'est révélée comme susceptible de produire dans l'organisme une action physiologique importante : certaines leucémies chroniques et uricémies, notamment, ont été ainsi notablement améliorées par des doses d'émanation déterminées expérimentalement et administrées en inhalation. Les résultats ainsi obtenus sont du même ordre que ceux que donnent les autres modes d'emploi de la radioactivité.

Il apparaît même, dès maintenant, que la station de l'Echaillon constitue en France, à cause de ses sédiments riches, la seule source naturelle qui permette une utilisation thérapeutique de l'émanation du thorium. On voit donc tout l'intérêt que présentent ces études et sur lequel il n'est pas besoin d'insister¹.

Pour ce savant, les eaux puisent leur radioactivité dans les roches profondes qu'elles traversent; les analyses pratiquées sur des roches de Savoie, dans le but de vérifier cette hypothèse, lui ont constamment révélé des traces indiscutables de radioactivité.

Les eaux thermales d'Aix-les-Bains viennent d'être l'objet de recherches toutes récentes de R. Castagné (Radioactivité des sources de quelques stations des Alpes : Aix-les-Bains, Challes, des Pyrénées, etc.; *C. R. Ac. Sc.*, séance du 16 février 1925). L'auteur conclut à la puissance radioactive élevée des eaux de grand débit d'Aix-les-Bains, atteignant, pour la source d'alun, une valeur supérieure à toutes les valeurs jusqu'ici calculées pour les sources françaises. Les eaux de Challes ont, par contre, une activité très faible.

¹ Les sédiments et les gaz si abondants des eaux de Brides sont probablement riches en émanations radioactives, mais ils n'ont fait jusqu'ici l'objet d'aucune étude en ce sens. On extrayait autrefois le sel dont ces eaux sont saturées, ainsi que celui des eaux de Salins.

c) Théories sur l'origine de quelques sources minérales de Savoie.

Depuis les derniers travaux consacrés à l'origine des sources minérales de Savoie, nos connaissances sur la structure des Alpes se sont un peu modifiées; il en résulte que certaines notions habituellement admises pour expliquer la venue au jour d'eaux thermales minéralisées demandent à être révisées. Les eaux d'Aix-les-Bains et celles d'Evian, dont la réputation est mondiale, viennent précisément d'être l'objet de recherches approfondies de la part de M. W. Kilian¹; il est donc tout naturel que nous les choissions comme exemples, d'autant plus qu'elles constituent, quant à leur origine, deux types très différents et caractéristiques.

1° *Source sulfureuse thermale d'Aix-les-Bains.* — On attribuait jusqu'ici la thermalité et la minéralisation de ces eaux à l'existence d'un synclinal situé à la base du Revard et à la présence hypothétique d'importants amas de pyrite de fer dans les sédiments néocomiens sous-jacents². Les eaux de ruissellement collectées par le versant occidental de la chaîne s'enfoncent dans le synclinal, maintenues entre deux couches imperméables (Hauterivien à la base, molasse au sommet); elles s'y échauffent, s'y minéralisent au contact des pyrites, puis

¹ W. Kilian, L'origine des eaux thermales d'Aix-les-Bains et de quelques autres sources thermo-minérales de la région du Sud-Est de la France (*Procès-verbal Soc. Sc. Isère*, 5 mai 1924), et Les dépôts fluvioglaciers de la rive méridionale du lac Léman et leur régime hydrologique (Evian, Amphion, Thonon) (*C. R. Ac. Sc.*, séance du 24 novembre 1924). Voir aussi Ch. Gorceix, *Essai morphologique sur le lac du Bourget et la région d'Aix-les-Bains*, Annecy, 1919.

² J. Révil, L'origine des eaux minérales de la Savoie (*Bull. Soc. Hist. Nat. Savoie*, 1907-1908).

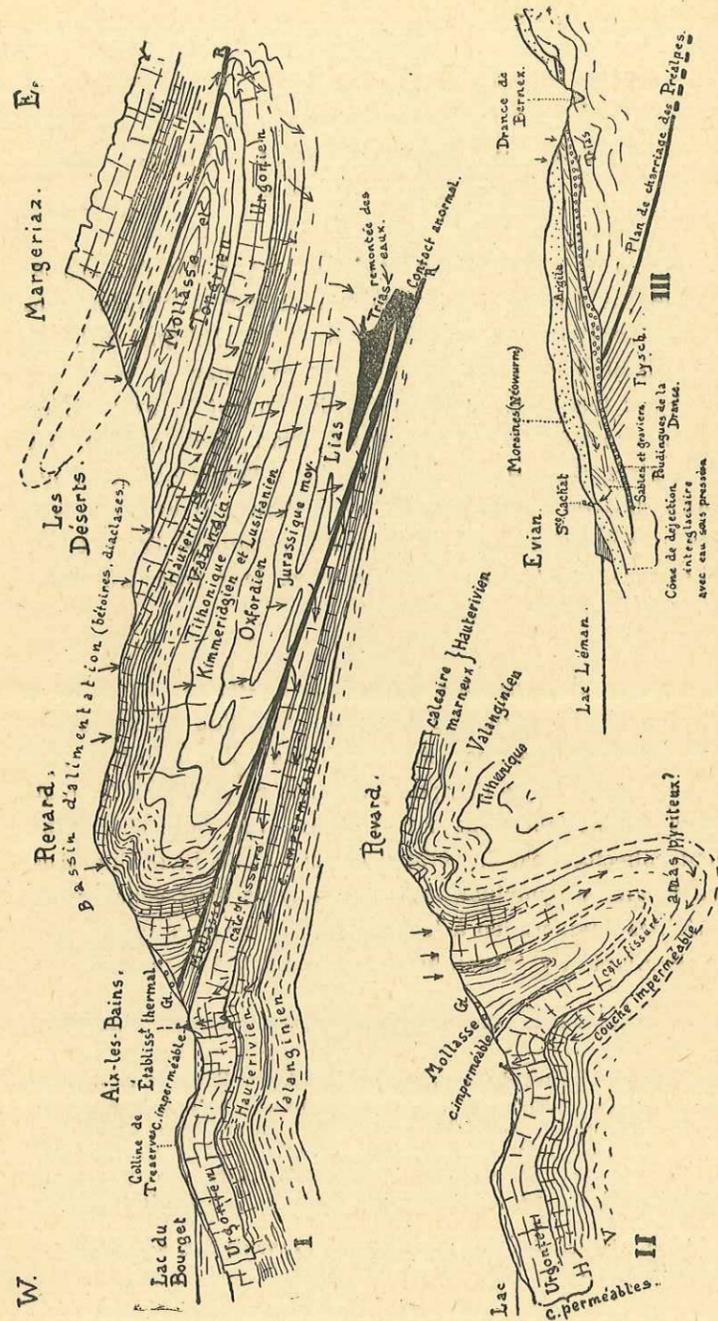


PLANCHE VIII.

reviennent rapidement au jour en suivant le mouvement naturel des couches (pl. VIII, II). Cette théorie paraît expliquer insuffisamment les propriétés chimiques des eaux d'Aix, ainsi que le débit considérable de la source.

Or, la chaîne Revard-Nivolet, tout comme les chaînons voisins du massif de la Grande-Chartreuse, s'est montrée, à l'examen, très fortement refoulée vers le Nord-Ouest suivant une surface de charriage inclinée vers le Sud-Est. M. Kilian pense donc que les eaux infiltrées sur toute la surface karstique du massif du Revard et de la vallée des Déserts acquièrent leur température élevée en profondeur (1400-1600 m.) et qu'elles se minéralisent au contact du Trias (riche en gypse et en sels) qui doit exister à la base des massifs refoulés. Ces eaux sulfatées thermales, ayant atteint la ligne de contact anormal, remontent rapidement vers la surface, grâce à cet accident lui-même, ainsi qu'aux crevasses et aux boyaux que présentent toujours les calcaires urgoniens (pl. V, I). Ce n'est que là, par l'influence de réactions organiques, qu'elles deviendraient sulfureuses.

Cette théorie aurait l'avantage, d'après M. W. Kilian, d'expliquer toutes les sources thermales de la région du Sud-Est (Uriage, La Motte-les-Bains, Monestier-de-Briançon, Digne...), lesquelles jalonnent, en effet, des plans de discontinuité analogues à celui qui accidente la base du Revard; on peut donc en déduire cette notion générale intéressante, que *les surfaces de charriage jouent un rôle prépondérant dans l'origine des sources therminérales*¹.

2° *Source alcaline d'Evian.* — Les eaux d'Evian sont carbonatées et faiblement minéralisées, de composition remarquablement constante, de température invariable. Leur débit est

¹ Les sources de l'Echaillon, précédemment étudiées d'un autre point de vue, et qui sourdent de fissures du granite au voisinage d'une surface de contact anormal, sont également une application de cette notion.

considérable (578 litres à la minute pour la seule source Cachat et 2.387 litres pour la totalité des sources exploitées). Elles font partie d'un groupe de sources échelonnées le long de la rive méridionale du lac Léman, sources qui sourdent des formations glaciaires si développées en ce point (stades de retraits du glacier néowürmien qui occupait le lit du lac actuel).

Diverses hypothèses ont été suggérées pour en expliquer l'origine. D'après Léon Janet, les eaux proviendraient d'une faille profonde (surface de chevauchement des Préalpes, existant d'ailleurs réellement) cachée par les dépôts glaciaires. Malheureusement, cette hypothèse n'explique ni la température peu élevée (11°,5) ni la faible minéralisation des eaux. On a, par la suite, pensé, comme réservoir possible, à une vaste lentille sableuse intercalée dans les argiles morainiques superposées aux poudingues interglaciaires dits « poudingues de la Dranse » ; mais le débit élevé de ces sources s'oppose à cette conception qui, d'autre part, n'explique nullement la pression constante qu'accusent en profondeur les eaux de la source Cachat.

Il résulte des observations de M. W. Kilian que l'origine de ces eaux est à rechercher dans les poudingues de la Dranse, formation perméable, très étendue, très épaisse, qui constitue un cône de déjection ayant pris naissance pendant une période interglaciaire. Ces poudingues sont emballés entre deux masses d'argiles glaciaires à cailloux striés (moraines). Les eaux de ruissellement infiltrées à l'amont dans cet immense réservoir, légèrement incliné vers le lac, s'épurent peu à peu en cheminant au travers des graviers et des sables dans lesquels elles sont maintenues sous pression et protégées de toute pollution par le manteau imperméable superposé; elles arrivent ainsi jusqu'à Evian, où les travaux de captage effectués en 1911 les ont précisément rencontrées sous la couverture argileuse, avec une pression qui a même permis de relever légèrement le griffon des sources (pl. VIII, III).

Pendant leur trajet souterrain, ces eaux sous pression, légèrement carboniquées, ont emprunté aux roches éruptives, ainsi

qu'aux roches calcaires ou magnésiennes qui abondent dans ces cailloutis, les éléments (carbonates alcalins) qui caractérisent leur minéralisation, d'ailleurs extrêmement faible. Le mécanisme qui donne naissance aux eaux minérales d'Evian est donc d'un type assez spécial et mérite, de ce fait, d'être signalé et retenu.

INDEX BIBLIOGRAPHIQUE

Ouvrages principaux relatifs aux ressources minérales de la Savoie.

- 1807. VERNEIHL. — *Statistique générale du département du Mont-Blanc.*
- 1858. GABRIEL DE MORTILLET. — *Géologie et minéralogie de la Savoie (Annales de la Chambre royale d'agriculture et de commerce de Savoie, t. IV).*
- 1875. BARBIER. — *La Savoie industrielle.*
- 1897. VENANCE PAYOT. — *Statistique minéralogique de la chaîne du Mont-Blanc (Revue Savoisiennne, 1897).*
- 1899-1904. BADOUREAU. — *Le passé, le présent, l'avenir de l'industrie miniérale dans l'arrondissement minéralogique de Chambéry (Bull. Soc. Hist. Naturelle de Savoie).*
- 1900. CHABRAND. — *Histoire de la métallurgie du fer et de l'acier en Dauphiné et en Savoie.*
- 1900. CHABRAND. — *Note sur les gites métallifères des Alpes, de la Tarentaise, de la Maurienne.*
- 1908. J. RÉVIL. — *Les sources thermo-minérales de la Savoie (Rev. Gén. des Sciences, 30 octobre 1908).*
- 1914. J. RÉVIL. — *Éléments de géologie de la Savoie avec applications industrielles et agricoles (Bull. Soc. Hist. Naturelle de Savoie).*
- 1918. J. RÉVIL. — *Les richesses industrielles et minérales de la Savoie (Bull. Soc. Hist. Naturelle de Savoie).*

Principaux ouvrages de géologie générale intéressant la Savoie.

- 1867. A. FAVRE. — *Recherches géologiques dans les parties de la Savoie, du Piémont et de la Suisse, voisines du Mont-Blanc (3 vol. et atlas).*
- 1889. G. MAILLARD. — *Notions de géologie élémentaire appliquées à la Haute-Savoie (Revue Savoisiennne).*
- 1889. G. MAILLARD. — *Note sur la géologie des environs d'Annecy, La Roche, Bonneville, etc. (Bull. Serv. Carte Géol. France, n° 6), et Note sur les derniers travaux de G. Maillard (Ibid., n° 22, 1891).*
- 1895-1896. E. HAUG. — *Études sur la tectonique des Hautes chaînes calcaires de Savoie (Bull. Carte Géol. France, n° 47).*
- 1897. E. RITTER. — *La bordure sud-ouest du Mont-Blanc (Bull. Carte Géol. France, n° 60).*

- 1900. M. LUGEON. — *Les dislocations des Bauges (Savoie) (Bull. Carte Géol. France, n° 77).*
- 1904. J. RÉVIL. — *Notions de géologie appliquées au département de la Savoie (Bull. Soc. Hist. Naturelle de Savoie, 1903).*
- 1910. L.-W. COLLET. — *Les Hautes Alpes calcaires entre Arve et Giffre (Mém. Soc. Phys., Hist. Nat., Genève).*
- 1910-1911. J. RÉVIL. — *Géologie des chaînes jurassiennes et subalpines de la Savoie (2 vol., Chambéry).*
- 1904-1908-1917. W. KILIAN et J. RÉVIL. — *Études géologiques dans les Alpes occidentales (Mém. Serv. Carte Géol. France, 3 vol. parus).*

Guides du Naturaliste (publiés sous la direction de M. BOULE) :

- MARC LE ROUX. — *La Haute-Savoie.*
- J. RÉVIL et CORCELLE. — *La Savoie.*

Guide Vallot :

- L.-W. COLLET. — *Aperçu sur la géologie du massif du Mont-Blanc et des Aiguilles-Rouges. Paris, 1924.*

Cartes.

- Carte géologique du département de la Savoie, par CH. LORY, L. PILLET, VALLET (1867).
- Cartes géologiques à 1/80.000, feuilles Thonon, Nantua, Annecy, Vallorcine, Chambéry, Albertville, Tignes, Grenoble, Saint-Jean-de-Maurienne, Bonneval, Briançon.

EXPLICATION DES PLANCHES

PLANCHE I. — Schéma structural des Alpes occidentales. d'après W. Kilian et la Carte récente de R. Staub.

Les traits en pointillé indiquent le territoire occupé par la Savoie qui participe ainsi de toutes les zones alpines.

PLANCHE II. — Trois coupes à travers les Alpes occidentales, destinées à faire comprendre l'architecture du sol de la Savoie (d'après les travaux de E. Argand et de J. Boussac).

PLANCHE III. — Asphalte et mollasse pétrolifère en Savoie.

1. Entrée de galerie (4^e couche d'asphalte) à Pyrimont (rive gauche du Rhône), d'après Arnold Heim.
2. Coupe relevée à Marny au-dessus de Lovagny. Contact des sables éocènes et de l'Urgonien asphaltique, montrant les migrations secondaires, à point de départ urgonien, qui ont imprégné successivement l'Éocène et même le Glaciaire.
3. Entrée de mine à Pyrimont (rive gauche), d'après Arnold Heim.
4. Contact de la 3^e couche de Pyrimont avec le Tertiaire.
5. Autre contact de la 4^e couche de Pyrimont avec le Tertiaire.
6. Coupe relevée au-dessus de Pyrimont (rive droite) dans une petite carrière de calcaire asphaltique abandonnée, montrant les migrations du bitume dans la masse urgonienne elle-même.
7. Coupe relevée au voisinage de l'entrée de la 2^e galerie à Pyrimont.

PLANCHE IV. — Histoire géologique de la formation des asphaltes jurassiens dans l'hypothèse d'une migration secondaire *per descensum*.

- I. Etat de la région à la fin de l'Éocène. (a) Urgonien raviné avec zones compactes (cp) et zones crayeuses (cr). Des sables fluvio-lacustres continentaux (b) remplissent les dépressions karstiques de cet Urgonien.
- II. Stampien. Les sédiments lagunaires et richement pétrolifères qui se sont déposés pendant cette période imprègnent *per descensum* les sables Éocènes et l'Urgonien sous-jacent. L'hydrocarbure s'emmagine dans les zones poreuses (cr) de l'Urgonien où il va s'oxyder peu à peu et donner le calcaire asphaltique. L'imprégnation localisée dans les sables (b) donne les sables bitumineux.
- III. Fin du Stampien, début du Chattien. Retour au régime continental (?) pendant lequel sont complètement déblayés les dépôts stampiens (qui, en effet, n'existent pas dans la région); la flèche indique le sens d'une migration nouvelle, possible, imprégnant *per ascensum* les sables éocènes.

IV. Chattien-Aquitainien s. str. Dépôt des complexes lagunaires faiblement pétrolifères des environs de Genève, de Pyrimont, de Frangy, etc.: (d) mollasses avec lentilles bitumineuses peu importantes; (d') conglomérat de base avec galets empruntés au substratum (mélange de galets d'asphalte et d'urgonien blanc).

Ces formations, avec pétrole et gypse (les Contamines), annoncent le retour de la mer franche qui se fera plus tard à l'époque burdigalienne.

PLANCHE V. — Carte des gisements de combustibles minéraux et d'hydrocarbures de la Savoie. En pointillé, territoire occupé par les deux départements savoisiens (Savoie et Haute-Savoie). Il n'a pas été tenu compte dans cette carte des lignites de la mollasse qui n'ont qu'un intérêt très restreint, ni du houiller métamorphique stérile (gneiss permo-carbonifères).

D'après la carte géologique au millionième et des observations personnelles.

PLANCHE VI. — I. Schéma d'une couche de charbon normale, non disloquée, avec son toit schisteux et son mur gréseux.

II. Schéma d'une poche d'antracite du type alpin.

III. Exemple d'allure en chapelet. Couche d'antracite exploitée en Tarentaise (mines d'Aime).

IV. Intercalation de blocs gréseux (truites) dans une poche d'antracite.

V. Intercalation de bancs de grès, issus du mur, dans une poche d'antracite (faux toit ou faux mur).

PLANCHE VII. — Carte géologique à 1/25.000 de l'extrémité sud du Salève, montrant le détail et l'importance des affleurements de sables siliceux éocènes (d'après E. Joukowsky et J. Favre).

PLANCHE VIII. — I. Origine probable des eaux thermales d'Aix-les-Bains, d'après l'hypothèse de M. W. Kilian.

II. L'origine de ces eaux, d'après les anciennes hypothèses.

III. Origine des eaux alcalines froides d'Evian, d'après M. W. Kilian.

INDEX ALPHABÉTIQUE
DES NOMS DE LOCALITÉS, DE CONCESSIONS,
DE GISEMENTS

A	
Aiguebelle	125
Aillon	102
Aime	83, 84, 119
Aix-les-Bains	155, 181, 185
Albens	178
Albertville	132, 155
Alex	145
Allemont	164
Allonzier (Montagne d')	142
Allues (Les)	83, 120
Anglefort	60
Annecy	123, 154, 155, 156
Annes (Les)	20, 170
Arâche	55
Arclosan	107
Arêche	89
Argentine	130
Arith	141
Armoy	153, 169
Arpennaz (Cascade d')	153
Arpettes (Les)	126
Arvillard	90, 125, 127, 168
Avanchers (Les)	168
Aviernoz	110
B	
Balme (La) ...	9, 84, 123, 142, 175
Balmettes (Les)	154
Bassy	38
Bathie (La)	132
Bauche (La)	181
Bauges	10, 102
Beauboiss	129
C	
Beaufort	88, 124, 134
Bellecombe	102, 105
Belledonne (Massif de)	14, 125
Bellegarde	37, 51, 60
Bellevaux	98
Bessans	125
Beriaz	38
Billat	38
Bissy	112
Boge	42
Boisse (La)	181
Boisserette (La)	55, 56
Bonneval	125, 127, 174, 181
Bonneville	56, 109
Bonvillard	131
Bourbonge	48
Bourget (Lac du)	37
Bourget-en-Huile	124, 130, 134
Bourg-Saint-Maurice	85, 125, 126, 129, 133, 175
Bourjal (Le)	122
Bout-du-Lac	114
Bozel	78, 84, 127, 152, 168
Brévières (Les)	83
Brides	168, 181
Bromines	141, 181
C	
Caille (La)	181
Centron	86
Cevins	88, 160, 162, 163
Chablais	18, 98
Challavrey	34, 38, 41
Challes	55, 181
Challonges	35, 38, 42, 143

Chambéry	11, 149, 152, 155
Chambre (La)	159, 161, 164
Chamonix	14, 175
Chanay	38
Chanaz	121, 152
Champagneux	178
Champagny	127
Chapelle (La)	169
Chapelu (Couche de)	82
Chardonnet (Col du)	75
Charmettes (Les)	149
Château-d'Oche	98
Châtelard (Le)	147, 155
Châtillon	55
Chautagne	117
Chamont	44, 60, 112
Chavan	98
Chavanod	112
Chavaroche	47
Chenêts	84
Chevilly	114
Chevrier	112
Cognin	112
Coise	181
Colombier (Le)	9, 33, 37
Combe-Chenalette	83, 86
Compôte (La)	155
Conflans	129
Cons	154
Contamines (Les)	110
Contamines-sur-les-Usses	36, 45, 59, 170
Corbassière (La)	83, 87
Corbassier	174
Corbière	83, 85, 118
Corbonod	60
Côte (La)	107
Côte-Barrier	140
Côte-d'Aime	85, 127, 129
Coupeau (Le)	89, 117, 164
Couz	37
Crampigny	143
Cran	123
Crédo	33
Crêt-à-la-Dame	142
Crêt-Lambert	109
Crossa (Lac de la)	132
Cruseilles	122
Curienne	155
Cuvat	123
D	
Darbon	98
Dardagny	35, 37, 57
Déserts (Les)	140
Desingy	171
Douattes (Pont-des-)	35, 36, 43, 52, 59
Dovey	125
Drailant	169
Duingt	105, 123
E	
Echaillon (L')	181, 182
Echelles (Les)	139
Emoutiers	112
Entremont	112, 152
Entrevernes	100, 102
Epagny	117
Epoisats (Les)	60
Etarpet (L')	82, 118
Etrable	47
Evian	181, 187
F	
Feissons	125
Ferrières	123
Fiogère (La)	98
Fontaine	98
Fontanus	89
Forêt-Saint-Ours (La)	178
Fosses (Les)	125, 134
Fourneaux (Les)	78, 126
Franclens	38, 42, 112
Frangy	36, 44
Freney (Le)	126
G	
Gardebois	49
Genève	8, 47
Genevois	11, 99
Gets (Les)	117
Girarde (La)	173
Girotte (Lac de la)	89, 124
Gitte (La)	89
Gorez (Chez)	110
Gorge-Noire	81
Grand-Bornand	55, 108

Grandes-Rousses 15, 88
 Grand-Mont 124
 Granier 85, 125, 129
 Gros-Foug 33, 36

H

Harbèche (L') 175
 Hautecombe 178
 Hauteluce 89, 124, 127
 Hermillon 130, 161, 164
 Houches (Les) 89, 176

J

Joséphine 86
 Joux (La) 122

L

Lancevard 126
 Landry 84
 Lanslebourg 125, 168, 174
 Lathuille 114
 Léchère (La) 181
 Lémenc 155
 Lequenay 83, 86, 118
 Laysse 146, 152
 Lhopital 38
 Lornay 143
 Lovagny 32, 33, 35, 47
 51, 54, 61, 112, 141
 Lucey 121, 178

M

Macot 127, 133, 134
 Malgovert 75
 Marceau 56
 Marignier 56, 110
 Marlioz 181
 Marlioz-sur-les-Usses .. 36, 59, 170
 Marny 53, 59, 141
 Maurienne 16, 81
 Massingy 112
 Meillerie 155
 Menthon-Saint-Bernard 181
 Mercury-Gemilly 155
 Modane 81, 125, 126, 127
 135, 168, 181
 Moirans 109
 Moiry 141

Montagnole 149
 Montagny 84
 Montaimond 127
 Mont-Blanc 14, 175
 Mont-Cenis 168
 Montchavin 83
 Mont-du-Chat 122, 152
 Montgilbert 125
 Montgirod 85, 127
 Mont-Jovet 87
 Montmailleur 155
 Mont-Noir 43
 Montpascal 127
 Mont-Pourri 83
 Montricher 148, 152
 Montriond 164
 Montrottier 49
 Mont-Valezan 125, 127, 129
 Montvernier 130, 169
 Morzine 161, 164, 166
 Motte-Servolex (La) 113
 Mouilles (Les) 117
 Moulins (Les) 85
 Moutiers 83, 85, 135
 147, 168
 Moyes 112
 Mure (La) 90
 Musiège 33, 43, 53

N

Nantuel (Combe du) 176
 Naves (Genevois) 109
 Naves 89, 162
 Naves (Pont-de-) 109
 Noiraigue 60
 Notre-Dame-du-Pré 85, 87, 168
 Novalaise 117

O

Orbagnoux 60
 Orlai 98
 Outry (Chalets d') 124

P

Peisey 78, 86, 128, 134
 Pernant 100, 110
 Perrière (La) 78, 84
 Perte du Rhône (La) 176
 Petit-Bornand 108, 181

Petit-Cœur 89, 159, 162, 164
 Plagne (La) 86, 127, 134, 137
 Plaine (La) 37
 Plan-d'Arc 81
 Planamont 83, 86, 118
 Planta (La) 83, 86, 118
 Plon de Séz (Vallon du) 124
 Poisy 117
 Pontamafrey 130
 Pormenaz 89
 Pralognan 127, 135, 168
 Presles 90, 124
 Puya (La) 154
 Pymont 32, 35, 38, 58, 61

R

Ramiette (La) 90
 Randens 168
 Réel 85, 86
 Reposoir (Le) 107
 Reyvroz 169
 Roche-Cevins 132
 Roche-Noire 84
 Rochelle (La) 47
 Rocheray (Massif du) 15, 130
 Rochette (La) 124, 130, 168
 Rumilly 37

S

Saint-Alban 146
 Saint-Alban-des-Hurtières 125
 Saint-André-de-Rumilly 112
 Saint-André 143
 Saint-Avre 130, 133
 Sainte-Catherine 178
 Saint-Colomban-des-Villards ... 161
 164, 166, 175
 Saint-Christophe 140
 Saint-Eustache (Bauges) 112
 Saint-Ferréol 107
 Sainte-Foy 175
 Saint-Georges-des-Hurtières. 125, 133
 Saint-Germain 175
 Saint-Gervais 181
 Saint-Gingolph 153
 Sainte-Hélène-sur-Isère 132
 Saint-Hugon 125
 Saint-Innocent 112
 Saint-Jean-de-Belleville 132
 Saint-Jean-de-Chevelu 122, 152

Saint-Jean-de-Couz 139
 Saint-Jorioz 122, 123, 178
 Saint-Julien 160, 166
 Saint-Jean-de-Maurienne . 129, 131
 147, 161, 166, 168
 Saint-Jean-de-Sixt 55
 Saint-Léger 130
 Sainte-Marie 86
 Saint-Martin-de-Belleville .. 84, 117
 168, 182
 Saint-Martin-la-Porte 152
 Saint-Michel 152
 Saint-Michel-de-Maurienne .. 78, 81
 Saint-Paul 132
 Saint-Pierre-d'Albon 152
 Saint-Sigismond 170
 Saint-Simon 181
 Saint-Sulpice 112, 155
 Saint-Thomas-des-Essarts 132
 Salève 9, 33, 35, 53
 123, 142
 Salins (Moutiers) 169, 181
 182, 184
 Sallanches 153
 Sallanches (Les) 173
 Sambuy (La) 123
 Samoëns 111, 154
 Sangot 83, 86, 118
 Sarrasins (Les) 126, 129
 Saigny 37
 Saussaz (Pont-de-la) 81
 Saut (Le) 129
 Séz 168, 175
 Seitenex 123
 Serrasson (Pont-de-) 35, 37
 44, 52, 57
 Serraval 107, 169
 Servoz 89, 132, 159
 160, 164, 166
 Serzin 45
 Sévrier 148, 153
 Seyssel 38, 43, 58, 59, 143
 Sonnaz 112
 Sordières 81, 118
 Sulens 20, 170
 Surjoux 42

T

Table (La) 130, 168
 Tanière à l'Ours (La) 129

	Pages
C. — Conclusions générales.....	90
II. — HOUILLE	98
III. — LIGNITES	99
A. — Origine des lignites nummulitiques de Savoie.....	100
B. — Principaux gisements.....	101
C. — Lignites de la molasse.....	111
D. — Lignites du quaternaire.....	112
E. — Usage des lignites de Savoie.....	115
IV. — TOURBIÈRES	116
V. — ETAT ACTUEL DES MINES DE CHARBON DE SAVOIE.....	117

CHAPITRE III

Minerais métalliques.

A. — Gîtes sédimentaires de la zone subalpine.....	121
B. — Gîtes métallifères de la zone cristalline et de sa couverture sédimentaire et de la zone du Briançonnais.....	123
C. — Conclusions	132

CHAPITRE IV

Produits divers.

I. — MATÉRIAUX RÉFRACTAIRES.....	135
1° Quartzites	135
2° Sables siliceux.....	137
3° Note sur les verreries de Thorens et d'Alex.....	145
4° Conclusions	146
II. — CHAUX, CEMENTS, CALCAIRES DIVERS.....	146
A. — Généralités	146
B. — Principales exploitations.....	148
C. — Conclusions	156
III. — ARDOISES	157
A. — Généralités	157
B. — Application aux ardoises de Savoie.....	160
C. — Principaux gisements d'ardoises.....	163
D. — Etat actuel de l'exploitation ardoisière en Savoie.....	166
E. — Conclusions	167

	Pages
IV. — GYPSE	167
A. — Principaux gisements.....	168
B. — Conclusions	171
V. — AMIANTE	172
VI. — BARYTE	176
VII. — PHOSPHATES	176
VIII. — FLUORINE	176
IX. — ARGILES A BRIQUES ET POTERIES.....	177

CHAPITRE V

Réflexions sur les sources minérales de Savoie.

a) Classement provisoire.....	181
b) Radioactivité	182
c) Théories sur l'origine de quelques sources minérales de Savoie.....	185
INDEX BIBLIOGRAPHIQUE.....	190
EXPLICATION DES PLANCHES.....	192
INDEX DES NOMS DE LIEUX, CONCESSIONS.....	194
TABLE DES MATIÈRES.....	199