

Géologie du pétrole des régions lémanique, genevoise et savoyarde (bassin molassique périalpin)

Autor(en): **Schroeder, J.W.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin der Vereinigung Schweiz. Petroleum-Geologen und -Ingenieure**

Band (Jahr): **23 (1956-1957)**

Heft 65

PDF erstellt am: **27.04.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-188510>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Géologie du pétrole des Régions lémanique, genevoise et savoyarde (bassin molassique péréalpin)

Par J. W. SCHROEDER *)

Abstract

The area considered, which is a part of the Tertiary Molassic perialpine Basin, is discussed regarding its possibilities and structures. Oil indications which are numerous (over 100) in the surroundings of the basin lead to many sources: Permian or Triassic-Jurassic-Neocomian and Middle Oligocene, the most striking indications being those of the Triassic formations, of the Cretaceous limestones and of the Oligocene sandstones. A great significance is attributed to the Cretaceous asphaltic limestones and to the Oligocene sandstones. Purely structural, as well as permeability wedge-outs and pinch-out possibilities in the Mesozoic and in the Tertiary are numerous.

Introduction

Ce segment du bassin molassique péréalpin se subdivise naturellement en quatre régions: 1) Région lémanique vaudoise; 2) Le Genevois du Salève au Jura, y compris le canton de Genève; 3) Le Chablais, au NE du canton de Genève, entre les Préalpes et le Lac Léman; 4) La région subalpine, entre le Salève et les chaînes subalpines.

Quoique les indices du Jura et de la Molasse ne soient pas des volcans de boue ou de véritables sources de pétrole, les imprégnations des calcaires dits asphaltiques de l'Urgonien, de même que celles des grès oligocènes molassiques, sans parler des sources de gaz de la région subalpine, sont des indices très remarquables et auraient dû attirer plus tôt l'attention des géologues pétroliers.

I. Indices

Les indices d'hydrocarbures sont extrêmement nombreux. Leur nombre s'élève à plus de 100. Il serait trop long dans le cadre de cet article de les décrire séparément. Ces indices se rencontrent dans l'arc externe et interne du Jura, dans la Molasse subjurassienne et subalpine enfin au Salève et dans les Chaînes subalpines

*) Géologue-Conseil, Case 275, Cornavin, Genève, Suisse.

Bord externe du bassin molassique

Ces indices sont soit du gaz, soit des imprégnations, soit des fissures enduites d'huile plus ou moins oxydée, soit des calcaires asphaltiques. Ils se rencontrent dans les formations suivantes :

Trias (Muchelkalk-Lettenkohle et Keuper). Dans la région de Vaux en Bugey et de Lons le Saunier (arc externe du Jura), le Trias a donné du gaz, certains forages avaient un débit initial de 264 000 m³ par jour. A Briod, près de Lons le Saunier, la Lettenkohle a produit pendant quelque temps jusqu'à 7 barrils d'huile par jour.

Jurassique moyen et supérieur. Surtout dans l'arc interne du Jura on connaît une douzaine d'indications dans le Callovien, le Bajocien, le Bathonien ainsi que dans le Jurassique supérieur.

Crétacé inférieur. Dans le Berriasien, le Valanginien et l'Hauterivien du Salève, du Chamblon, de la région de Montcherrand et de Serrières des imprégnations d'huile, souvent très fraîche, ont été observées.

Barrémien (faciès urgonien). On ne compte pas moins de vingt localités de la région de Seyssel au canton de Neuchâtel, sur une distance de 125 km, où l'Urgonien est imprégné ou bien alors les diaclases et failles qui le recoupent sont enduites d'huile parfois très fraîche. Ces localités sont situées dans le premier pli du Jura ou sur son revers interne, à Lovagny et le long du Salève. Ces imprégnations ont fait ou font l'objet d'une exploitation à Lovagny, Pyrimont (Seyssel) et au Val de Travers (Neuchâtel). Les calcaires imprégnés dits asphaltiques sont moulus puis chauffés après adjonction d'une certaine proportion d'asphalte pur de Trinidad. La matière asphaltique ainsi obtenue est coulée en moules hexagonaux et sert à l'asphaltage des routes. La production cumulative des mines de calcaires asphaltiques urgoniens atteint environ 4 000 000 de tonnes contenant environ 10 % d'huile oxydée. Estimant le tonnage des calcaires imprégnés encore en place à 10 ou 20 fois celui déjà exploités, nous arrivons à un volume d'huile oxydée résiduelle de 30 à 60 millions de barrils. Le volume d'huile brute primitive avant que les gisements ne soient victimes de l'érosion a dû être considérable. On voit ainsi que nous sommes dans une province pétrolifère dont la frange externe a déjà été détruite par l'érosion.

Molasse stampienne subjurassienne. C'est sur plus de 250 km, de Frangy jusqu'à Aarau sur le bord externe du bassin molassique périalpin que l'on observe des grès ou même des conglomérats imprégnés à la base de la Molasse (Stampien moyen et supérieur). Pas moins de vingt localités sont connues et décrites depuis un demi-siècle.

Bord interne du bassin molassique

Dans la Molasse subalpine d'âge Stampien inférieur on connaît des imprégnations dans le canton de Lucerne (Flühli). Nous en avons retrouvé dans la vallée du Petit Bornand (Haute Savoie) une vingtaine de mètres au-dessus de la base de la série des marnes rupéliennes. Dans les chaînes subalpines de la Haute Savoie (Massif des Bornes) l'Urgonien, qui par place a été soumis à une *karstification anté-albienne*, et le Nummulitique présentent aussi des indices. Ce sont les premiers indices cités sur le bord interne du bassin molassique périalpin dans des formations antérieures à la Molasse. Enfin une dizaine de petites sources de gaz sont échelonnées dans la région subalpine française et suisse sur plus de 350 km, du Lac d'Annecy au Lac de Constance.

II. Roches-mères

En dessous des séries mésozoïques il faut nous attendre à rencontrer des bassins permien et stéphanien, enchassés dans le socle antéstéphanien, et dans les séries stéphanien et permien on connaît des sédiments qui peuvent être considérés comme des roches-mères.

Stéphanien. Des schistes fins, bitumineux, avec *Estheria cebennensis* à Lons I, furent rencontrés dans les sondages de Lons I et de Conliège dans le synclinal permocarbonifère de Lons-le-Saunier, à la base de la série stéphanien représentée. Dans le bassin houiller de St-Etienne, un horizon de schistes bitumineux existe au sommet du Stéphanien, au toit du 3^e *Beaubrun*: «Ces schistes très noirs, très fins, bitumineux et pyriteux, sont bourrés d'écailles de poissons et de coprolithes» (De Maistre, renseignements écrits). Des Esthéries n'y ont pas été rencontrées. Son épaisseur est de 4 à 5 m et cet horizon est très constant dans le bassin de St-Etienne.

Permien. Les schistes bitumineux du bassin autunois et de l'Allier sont bien connus à la base des terrains permien. A Autun, le bassin couvre une superficie d'environ 250 km². Les schistes bitumineux y ont été exploités activement. L'épaisseur totale de tous les niveaux de schistes bitumineux permien dans le bassin d'Autun atteint une vingtaine de mètres. Ces schistes donnent à la distillation de 60 à 100 litres d'huile, par tonne de schistes. Mais ce qui est important, c'est que ces schistes bitumineux donneraient jusqu'à quatre pour cent d'hydrocarbures solubles. Si une partie de l'huile des schistes permien a pu être mobilisée et migrer, elle aurait pu se loger dans un réservoir d'âge plus récent au cours des périodes géologiques postérieures. On comprend aisément l'intérêt qu'il y a de connaître la possibilité de l'existence de bassins permien sous la couverture mésozoïque et tertiaire du Jura et du Bassin molassique. En fait l'activité du premier wildcatter suisse, l'Ingénieur Gutzwiller a permis de déceler l'existence d'un tel bassin à Wintersingen (cantons de Bâle et Argovie).

Trias. Dans le *Muschelkalk inférieur* nous notons l'existence de marnes bitumineuses (Wellenmergel) à *M. orbicularis*. La *Lettenkohle*, avec ses marnes dolomitiques, ses argiles schisteuses noires (schistes à *Estheria*), sa richesse en écailles de poissons (bonebeds), pourrait aussi être regardée comme un roche-mère. D'une façon générale, le Trias avec sa sédimentation lagunaire, dolomitique, son sel, son gypse, ses niveaux argileux rouges, et son alternance de niveaux marins et saumâtres, correspond assez bien à ce que certains géologues conçoivent comme un milieu susceptible d'avoir généré du pétrole. En fait, le Keuper et la Lettenkohle produisent ou ont produit du gaz à Vaux et à Lons-le-Saunier. A Champfromier, des schistes très noirs et très luisants du *Keuper* (à *Estheria*) contiennent des hydrocarbures solubles.

Lias. Du Weissenstein vers l'E, on observe des schistes très bitumineux dans le *Lias inférieur*. Au *Lias supérieur*, les schistes bitumineux du Toarcien peuvent atteindre de 10 à 50 m d'épaisseur et sont continus à travers tout le Jura. Ils contiennent à la distillation 4,10 % d'huile en Suisse et jusqu'à 10 ou 12 % en France et en Allemagne. Une certaine partie, 0,5 %, de ces hydrocarbures sont libres. Les schistes à *Posidonomya* du Lias peuvent donc aussi être considérés comme des roches-mères potentielles.

Au *Jurassique moyen* il est possible que certains faciès marneux, argileux, puissent être considérés comme des roches-mères. Mais c'est là une étude qui devrait encore être faite.

Au *Kimméridgien* (niveaux à *Exogyra virgula*, Poissons et *Zamites*), on observe à Orbagnoux, Anglefort, Cerin et Forens (Ain), des calcaires finement lités, blanchâtres à la patine et dont l'aspect rubanné dû à de minces feuillets de schistes bitumineux noirs est très caractéristique. Cette roche ressemble à certains niveaux des calcaires crétacés de La Luna, du Venezuela et de la Colombie, généralement admis comme roches-mères pour une bonne partie des gisements de ces deux pays.

Dans les *Chaînes subalpines* (série de la Dent de Con), les schistes noirs du Berriasien et du Valanginien, ainsi que certains faciès du Jurassique, devraient faire l'objet d'une étude approfondie. En effet, ces schistes du Crétacé inférieur peuvent fort bien être considérés comme des roches-mères.

Dans la *Zone subalpine* les niveaux des Schistes à Meletta de l'Oligocène inférieur marin de la Molasse subalpine constituent eux aussi une source adéquate.

Cette trop brève revue nous indique que des formations susceptibles d'avoir généré des hydrocarbures se rencontrent dans le Permien, le Trias, le Jurassique, peut-être dans les séries néocomiennes subalpines, et dans l'Oligocène inférieur marin subalpin.

III. Roches-magasins

Tout est encore à faire dans la région en ce qui concerne les études de porosité et de perméabilité. Certains faciès paraissent adéquats, d'autres qui, à l'affleurement, ne sauraient être envisagés comme réservoirs, pourraient l'être en profondeur sous l'effet d'une dolomitisation et d'une fracturation intenses.

Grès bigarré. A Soultz, en Basse Alsace, cette formation a livré quelques barrils d'huile, et à Bruchsaal, ce grès a donné des indices abondants.

Muschelkalk. A Soultz, quoique aucune production commerciale continue n'ait été obtenue (production cumulative en 1949: 8000 barrils), cette formation présente de bonnes possibilités. A Domblans, le Muschelkalk est producteur de gaz. A Staffelfelden, de l'huile a également été rencontrée dans le Muschelkalk. Enfin à Lons-le-Saunier et à Vaux-en-Bugey il était gazéifère.

Lettenkohle. A Revigny I et Perrigny I, du gaz est produit à partir de cette formation. A Briod cette formation a fourni jusqu'à 7 barrils par jour, De l'huile en est obtenue à Kutzenhausen (Soultz) (production totale: 5000 barrils).

Keuper. A Ohlungen (région de Soultz), une production totale de 3800 barrils avait été obtenue à partir de cette formation.

A Bruchsaal, le meilleur horizon productif est le *Grès à roseaux*, qui a donné de petites productions mais s'étendant sur plusieurs années.

A Vaux, les dégagements et la production de gaz dont nous avons parlé proviendraient du Keuper, de lentilles dolomitiques en communication les unes avec les autres, intercalées dans les argiles et les gypses.

Rhétien. En Basse-Alsace le Rhétien contient fréquemment de l'huile mais, vu sa perméabilité très basse, aucune production n'a été obtenue. A Bruchsaal, les grès rhétiens contiennent toujours de l'huile résiduelle et de l'eau salée, cependant ils n'ont donné lieu à aucune production. En Suisse, dans le Jura plissé oriental, les grès rhétiens sont très peu cimentés, ils s'effritent aisément pour donner un sable quartzueux blanc et brillant. Leur épaisseur maximum est de 6 à 7 m, dont les trois quarts sont constitués par ces grès mal cimentés. Ce faciès, également présent dans le Jura méridional, serait un excellent réservoir.

Aalénien supérieur. En Basse-Alsace, la zone à *Ludwigia munchisonae* a donné des indices intéressants, mais aucune production; par contre, à Bruchsaal, les grès du niveau à *L. munchisonae* sont productifs.

Bathonien. En Basse-Alsace, la zone basale à *Ostrea acuminata* constitue un bon réservoir et dans la Grande Oolithe plus de 120 puits ont eu une production commerciale. A Staffelfelden, les puits producteurs dérivent leur huile d'un réservoir d'âge bathonien (calcaires oolithiques dolomitisés).

Les Calcaires à pentacrines du *Bathonien inférieur* ainsi que certains niveaux tels que les dolomies cavernueuses du *Portlandien* pourraient aussi constituer des réservoirs.

Les calcaires échinodermiques du *Valanginien* et de l'*Hauterivien* pourraient aussi constituer des réservoirs si une fracturation leur a été infligée.

Enfin l'*Urgonien* et l'*Aptien*, sous leur faciès crayeux et oolithique, constituent des réservoirs remarquables. Durant les périodes d'émersion et de karstification qui ont précédé le dépôt de la molasse, une porosité secondaire s'est développée. Une érosion karstique a atteint l'*Urgonien* partout où celui-ci ne restait pas recouvert par les dépôts aptiens et albiens. L'érosion karstique a même atteint l'*Hauterivien* au Salève et au Chamblon, tandis que dans la moitié orientale du Jura cette érosion karstique atteignait les calcaires du Jurassique supérieur. Dans et dessus cette surface karstifiée se déposèrent par la suite les dépôts «sidérolithiques», les sables quartzeux et enfin les marnes et grès de la Molasse oligocène.

Un tel niveau karstique enfoui sous les dépôts oligocènes constitue un réservoir remarquable. Enfin les sables quartzeux cartés comme «sidérolithique» constituent un réservoir parfait mais d'extension réduite.

Molasse stampienne subjurassienne. Les grès de la partie inférieure du Stampien moyen et supérieur sont imprégnés sur de grandes distances et constituent le réservoir le plus jeune dans lequel les hydrocarbures se sont accumulés.

IV. Origine, Migration, Possibilités

On est tenté parfois d'attribuer tous les hydrocarbures rencontrés à une seule et même source, au Permien p. ex. Cette explication se heurterait à quelques difficultés: Pourquoi, de toute la série mésozoïque, seuls les calcaires urgoniens sont-ils fortement imprégnés? Pourquoi les niveaux sous-jacents ne présentent-ils pas une imprégnation asphaltique comparable à celle de l'*Urgonien*? Et pourtant, les niveaux jurassiques ont été protégés plus longtemps de l'érosion et de l'oxydation que les calcaires urgoniens. Ils devraient montrer une plus grande abondance de niveaux imprégnés. Même si l'imprégnation s'est effectuée à partir de failles et de chevauchements, quoique en général les failles soient plutôt considérées comme empêchant la migration, les migrations auraient dû s'effectuer aussi dans des niveaux plus anciens que l'*Urgonien*. En outre la proximité de calcaires asphaltiques et de grandes failles, décrochements ou chevauchements, ne pourrait être que fortuite. Les localités où le calcaire asphaltique urgonien se rencontre proche d'un accident (faille, etc.) sont aussi nombreuses que les localités où l'on ne voit pas de faille à proximité, telles St-Aubin, Etrables, Lovagny. En outre, dans la Valserine (Forens) et au Val-de-Travers, c'est le flanc en *Urgonien* du synclinal de la structure chevauchée qui est imprégné. Les terrains du cœur de la structure chevauchante: Reculet dans la Valserine, Chasseron dans le Val-de-Travers, ne présentent pas d'imprégnations connues. Et pourtant, si les hydrocarbures utilisaient pour migrer le plan de charriage sous-jacent à ces structures, on pourrait s'attendre à rencontrer des niveaux imprégnés, aussi bien dans la structure chevauchante que dans la structure chevauchée. En outre, l'âge de ces chevauchements n'est pas

bien connu, mais il est probable que la phase post-pontienne y est pour quelque chose. Or, l'imprégnation des calcaires urgoniens est préaquitaniennne, ceci est prouvé par la présence de galets asphaltiques dans un conglomérat sous-jacent à l'Aquitanienn inférieur à Pyrimont. On peut douter qu'à l'Oligocène supérieur des accidents comme ceux de la Valserine ou du Chasseron aient existé et surtout aient eu l'ampleur nécessaire pour faire communiquer la source d'hydrocarbures profonde avec les niveaux crétacés.

Schuppli (1950) est d'avis que les imprégnations des calcaires asphaltiques urgoniens, neuchâtelois et vaudois, sont dues à une migration latérale des hydrocarbures de la Molasse stampienne. Celle-ci devrait ses hydrocarbures à la Molasse rupélienne subalpine qui aurait migré tout d'abord dans la Molasse chattienne puis latéralement à l'extérieur du Bassin molassique en suivant des grès-couverture du Chattien. D'autres auteurs, Heim, Lagotola, ont supposé que les hydrocarbures de la Molasse stampienne subjurassienne s'étaient formés in situ. Le caractère lacustre et terrigène des dépôts ne permet pas de supporter cette interprétation.

L'extension du Kimméridgien d'Orbagnoux paraît limitée au Département de l'Ain, entre Ambérieu et Seyssel. Ce faciès si intéressant n'est pas connu au Salève, ni au Vuache, ni au Gros-Foug, ni au Reculet. Sa présence dans la cuvette genevoise est donc douteuse, quoique pas impossible. Si le Kimméridgien d'Orbagnoux était la roche-mère du pétrole rencontré dans l'Urgonien, de nouveau on ne voit pas pourquoi des horizons intermédiaires, tout aussi poreux que l'Urgonien, ne seraient pas aussi imprégnés. Nous pensons aux calcaires oolithiques et crayeux du Portlandien du Salève, par exemple, ou aux calcaires valanginiens et hauteriviens. En outre, la migration du Kimméridgien à l'Urgonien aurait dû se faire transversalement aux calcaires compacts du Kimméridgien supérieur, du Portlandien inférieur et de l'Infra-valanginien, ainsi qu'à travers le Purbeckien. De plus le mode de déposition de ces calcaires doit être lié à des lagunes intracoralliennes, par conséquent la répartition des calcaires d'Orbagnoux a de fortes chances d'être localisée à des secteurs d'extension plutôt restreinte. Or pour expliquer l'imprégnation des calcaires urgoniens sur 125 kilomètres de distance, nous avons besoin d'un autre phénomène très généralisé.

Les hydrocarbures rencontrés dans le Trias (Lettenkohle-Keuper-Muschelkalk) peuvent fort bien s'être formés in situ et s'être accumulés dans des réservoirs du même âge. Une origine permienne des hydrocarbures du Trias cependant n'est pas à négliger. La répartition actuelle du Trias productif suggère une telle relation, Vaux et Lons-le-Saunier étant situés chacun au-dessus d'un synclinal enfoui de Permo-Carbonifère.

Une origine triasique pour les hydrocarbures du Crétacé se heurte aux même objections que pour les origines permienne ou kimméridgienne.

Quant aux imprégnations rencontrées dans le Jurassique moyen, si le Trias ou le Permien n'y sont pas pour quelque chose, le Lias, l'Oxfordien et le Jurassique moyen lui-même pourraient être à l'origine des hydrocarbures de la Grande Oolithe. En tout cas elles sont réelles.

Nous sommes ainsi conduits progressivement, au cours de cette démonstration, à conserver l'origine permienne des hydrocarbures comme valable seulement pour des niveaux antérieurs au Keuper, lequel agit probablement comme excellente couverture. Les hydrocarbures rencontrés dans le Trias se sont peut-être formés in situ, tandis que ceux du Jurassique moyen dérivent peut-être du Jurassique lui-même. Mais alors, qu'en est-il des hydrocarbures de l'Urgonien et de la Molasse? Deux hypothèses aboutissant au même résultat peuvent être considérées.

Ici il nous faut attirer l'attention sur l'existence d'une fosse sur l'emplacement des Chaînes subalpines, fosse qui, vers le Sud se raccorde avec la fosse vocontienne.

Le faisceau des «Chaînes subalpines» borde le bassin molassique subalpin vers l'E. Ce faisceau, large d'une dizaine de kilomètre, plonge axialement au NE vers la vallée de l'Arve sous les masses préalpines et au SW vers le lac d'Annecy. Dans cette chaîne, la stratigraphie est différente de celle rencontrée au Jura ou au Salève. Sans compter la couverture molassique sur son bord externe, la série sédimentaire y atteint, du Trias au Nummulitique inclus, environ 3000 à 3500 m, c'est-à-dire près du double de celle mesurée dans le Jura. Le passage de la région à sédimentation jurassienne à l'aire de sédimentation subalpine s'effectue quelque part entre le Salève et les premiers plis subalpins. Sur une distance de 12 à 15 kilomètre, on passe d'un domaine où les sédiments mésozoïques atteignent 1800 m à une aire où la même série stratigraphique atteint plus de 3000 m. On est vivement tenté d'attribuer cette diminution d'épaisseur rapide à un passage du domaine épicontinental (Salève et Jura) à un domaine à subsidence plus marquée.

Il nous paraît inutile d'insister sur l'intérêt que présente cette zone de passage du point de vue pétrolier. C'est aussi sur cette zone que s'est formé, au Stampien inférieur (Rupélien), un sillon qui s'est rempli de «Molasse marine inférieure» (schistes à Meletta) s'accumulant sur quelques centaines de mètres d'épaisseur et se terminant actuellement en biseau vers l'Ouest et le Nord-Ouest.

Puis nous avons attiré l'attention sur la possibilité que les sédiments subalpines du Massif des Bornes représentent une roche-mère. En fait, c'est le Néocomien qu'il faut considérer dans ce sens. Sur de grandes épaisseurs, nous rencontrons des marnes noires au Berriasien et au Valanginien, à l'Hauterivien des marno-calcaires bleuâtres, des marnes bleuâtres à miches, des marnes noires fissiles, des marno-calcaires gris-noir à miches. Ces trois étages sont riches en ammonites, souvent pyriteuses. C'est à ces formations, que l'on pourrait attribuer l'origine des hydrocarbures présents dans l'Urgonien poreux, crayeux, des faciès jurassiens. Ce serait sur une distance de 30 kilomètres, des premières Chaînes subalpines jusqu'au revers interne du Jura, que la migration aurait eu lieu. Les hydrocarbures auraient dans cette hypothèse migré du Néocomien subalpin dans l'Urgonien qui le surmonte, puis dans l'Urgonien de la plateforme jurassienne, de la fosse subalpine vers l'extérieur de celle-ci. Toutefois l'existence d'un «Karst» anté-albien réduit quelque peu les possibilités de cette explication.

La présence des hydrocarbures à la base de la Molasse peut s'expliquer comme due au même phénomène et à la même origine que pour l'Urgonien jurassien, c'est-à-dire que la migration s'est effectuée à la base de la surface de transgression de l'Oligocène, dans la zone de porosité secondaire de l'Urgonien karstifié, au-dessous de la surface de discordance, et dans les grès grossiers et les conglomérats du Stampien moyen et supérieur.

Cette hypothèse, à notre avis, explique mieux les conditions qu'une migration venue des profondeurs (Permien ou Trias) à la faveur de grandes cassures. Elle implique cependant l'existence de l'aire sédimentaire subalpine, à sédimentation puissante, présente sous les Préalpes chablaisiennes et romandes, et ceci au moins jusqu'au méridien de Aarau, ce qui d'ailleurs est possible.

La seconde hypothèse est celle de l'origine des hydrocarbures dans les séries de Schistes à poissons de la Molasse subalpine d'âge Stampien inférieur. Cette Molasse subalpine a certainement généré des hydrocarbures. Dans la vallée du Petit Bornand elle contient des hydrocarbures libres et les fissures des grès intercalés sont enduites

d'un pétrole très léger. Le Stampien inférieur n'est présent ni au Salève ni au pied du Jura. La limite Ouest et Nord-Ouest de son dépôt se trouve sans doute quelque part entre sa répartition actuelle et le Jura. Elle se termine donc en biseau vers l'Ouest et le Nord-Ouest et ce biseau s'applique en conséquence contre le mésozoïque sous-jacent au pays molassique. En conséquence, il est tout à fait possible que des hydrocarbures aient pu migrer latéralement à partir du Rupélien dans l'Urgonien et de celui-ci dans les termes poreux du Stampien qui le recouvre.

Quelle que soit l'hypothèse préférée, le résultat est pratiquement le même. Nous devons dire toutefois que la première hypothèse acquerrait éventuellement beaucoup de poids si les séries mésozoïques des Préalpes externes n'étaient pas ultrahelvétiques mais subhelvétiques, c'est-à-dire subalpines! En effet on connaît dans ces séries une excellente roche-mère: le Barrémien de Châtel-St-Denis. Si celui-ci s'était déposé dans la région subalpine, il est évident que c'est ce faciès qui serait la meilleure source des hydrocarbures imprégnant l'Urgonien et le Stampien. Une telle explication a contre elle toutes les interprétations classiques actuelles sur l'origine du Mésozoïque des Préalpes externes, interprétations qui, nous devons le dire, sont contredites par de nombreux faits d'observation que nous espérons exposer prochainement.

Dans les deux hypothèses, les hydrocarbures de la Molasse et de l'Urgonien auraient une origine commune. En revanche, ceux du Jurassique moyen et du Trias auraient chacun la leur.

Nous voyons aussi pourquoi la région molassique périalpine est si intéressante du point de vue pétrolier. Il y a de fortes présomptions pour que, sous une couverture de Molasse, des hydrocarbures imprègnent l'Urgonien et la base de la Molasse.

V. Note stratigraphique

L'étude tectonique de la Molasse ne pouvait s'effectuer qu'à l'aide d'une étude stratigraphique. Nous nous sommes ainsi attachés tout d'abord à trouver des repères paléontologiques dans les divers termes de la Molasse. Dans cette étude nous avons été puissamment aidé par D. A. Rigassi qui est passé maître dans la découverte paléomammologique.

Cette recherche nous a permis de découvrir pas moins de douze localités fossilifères entre les Usses et l'Aubonne (nombre qu'une étude encore plus poussée pourrait facilement multiplier par deux ou trois). La stratigraphie de la Molasse peut se résumer ainsi: 1. A la base, des calcaires blancs d'eau douce (= calcaires de Wynau); 2. la «Molasse Rouge» dont la partie inférieure contient des mammifères fossiles du Stampien moyen et la partie supérieure des mammifères du Stampien supérieur; 3. des calcaires d'eau douce; 4. une série de marnes grises en petits lits avec gypse, également du Stampien supérieur. Toutes ces formations sont bien reconnaissables sur le terrain et permettent avec la mesure de leurs pendages de déchiffrer des structures.

Dans la Molasse subalpine, le Stampien inférieur — Schistes à Meletta — est surmonté par des niveaux conglomératiques et détritiques attribués au Stampien moyen. Les calcaires lacustres observés à la base de la Molasse subjurassienne sont sans doute de la base du Stampien moyen, le Stampien inférieur devrait donc se trouver juste dessous. Actuellement rien ne nous permet de supposer que l'extension des dépôts de cet âge vers l'extérieur du bassin serait limitée seulement à l'écharpe subalpine. La présence de schistes à poissons (d'âge rupélien ou sannoisien?) à la Balmfluh et à l'entrée S du tunnel du Weissenstein, seuls affleurements de toute la Molasse subjurassienne où on observe des niveaux antérieurs au Stampien moyen, permet de sup-

poser que l'extension du Stampien inférieur sous le bassin molassique périalpin est plus grande qu'on ne le suppose. A cause du Salève, autour duquel des sédiments du Stampien inférieur n'ont pas été reconnus sûrement, on est enclin à penser que ces niveaux sont absents dans le reste du bassin molassique. Mais le Salève, qui surgit en plein milieu du bassin est une structure ancienne qui durant le Stampien inférieur pouvait fort bien émerger ou pour le moins constituer un haut fonds. Bref il ne faudrait pas projeter pour tout le bassin les données stratigraphiques d'une région haute.

VI. Notes tectoniques

A. Région lémanique vaudoise

Dans la région lémanique vaudoise, que nous limiterons ici arbitrairement à la portion comprise entre la Versoix et la Venoge, les affleurements y sont rares car la couverture glaciaire est considérable, toutefois des structures peuvent y être décelées. Les géologues de la PEK (ALTHAUS, 1947) avaient reconnu l'existence de la structure de Morges qui, ouverte dans la partie supérieure de la Molasse Rouge, affleure bien au nord de la ville de Morges. Son périclinal oriental est bien étudiable, en revanche de Tolochenaz au domaine de Chanivaz, vers l'Aubonne, son périclinal occidental éventuel est entièrement caché par les dépôts quaternaires. Entre cette structure, laquelle est bien séparée du Jura par le synclinal de Gollion-Penthaz (prolongation de celui d'Echallens) et la frontière genevoise une étude de la Molasse n'avait jamais été entreprise. Vu la couverture glaciaire, les quelques structures que nous croyons y reconnaître sont pour le moment de nature très interprétative. Le décrochement de Pontarlier doit être suivi en partie par le cours de l'Aubonne. Dans le cours de cette rivière on décèle un faible pli synclinal au droit de la ville d'Aubonne. Ce pli synclinal sépare la Montagne de La Côte du Jura. Sur son tracé, par Gimel, jusqu'à Begnins nous avons reconnu près de cette dernière localité un affleurement de marnes grises du Stampien supérieur.

La Montagne de La Côte nous apparaît comme une structure anticlinale plongeant au NE dans la région de Bougy-Féchy et au SW dans la région de Luins-Begnins et faillée longitudinalement selon son axe dans sa partie SW. Enfin d'autres observations nous autorisent à supposer l'existence d'une structure entre la Promenthouse et Bursinel. Entre le Boiron et la Versoix, l'étude en cours nous autorise à supposer un accident important. Toutes ces structures présentent un intérêt pétrolier évident. La possibilité d'y rencontrer le facies côtier, poreux, du Stampien inférieur doit être retenue.

B. Genevois

La structure de la partie méridionale de cette province est dominée par un décrochement considérable, long de 40 km, orienté NW (décrochement de Silligny). Suivant ce décrochement le bloc au nord s'est déplacé vers l'ouest, relativement au bloc sud d'environ 9 kilomètres! C'est ainsi que selon notre interprétation l'anticlinal du Salève a été sectionné de la Montagne du Semnoz dont il était la prolongation septentrionale et se trouve séparé de son amorce. L'extrémité méridionale du Salève, la Montagne de la Balme est tranchée par le décrochement et fait face actuellement à la Montagne de Lovagny, mais les deux Montagnes n'appartiennent pas au même axe. Leurs positions actuelles, presque bout à bout constituent un trompe l'œil structural. La Montagne de la Balme présente sur son flanc oriental les mêmes facies au

Crétacé moyen que la Montagne de Veyrier, tandis qu'ils sont différents à la Montagne de Lovagny.

Entre la Montagne d'Allonzier et le Vuache, nous avons reconnu deux axes anticlinaux lesquels se retrouvent au sud du décrochement, l'un dans la Montagne de Lovagny et l'autre dans le pli de Sainte Catherine.

Le décrochement de Sillingy s'observe plus à l'ouest entre le Mont de Musiège et le Vuache, aux environs du Malpas. Le Mont de Musiège est un simple petit bout de périclinal plongeant au sud. La structure à laquelle il appartenait, située au nord du décrochement a été tranchée par celui-ci. Du Malpas ce dernier change de direction et le Vuache n'est rien d'autre que sa lèvre orientale soulevée. Au nord du Rhône cette dislocation semble se raccorder à l'important chevauchement vers l'Ouest de la première chaîne du Jura, chevauchement dont l'ampleur atteint au moins trois kilomètres. Le gros de la structure dont le Mont de Musiège n'est que le périclinal est sans doute actuellement caché sous la première chaîne chevauchante du Jura.

Le décrochement de Sillingy a joué un rôle évident dans la répartition des dépôts du Miocène inférieur. En effet ceux-ci ne dépassent pas au nord le tracé du décrochement. Celui-ci constituait un escarpement regardant vers le Sud-Ouest que la mer peu profonde du Burdigalien n'a pas réussi à franchir; en effet la limite septentrionale des dépôts miocènes coïncide exactement avec le tracé du décrochement.

Nous montrerons dans un autre travail que ce décrochement ainsi que les autres décrochements qui affectent le Jura ne sont que la manifestation superficielle de cassures profondes importantes du socle antétriasique. L'âge du décrochement du Vuache serait donc en tout cas pré-burdigalien. Les plis du bassin molassique existaient donc déjà à cette époque et les phases tectoniques miocènes et post-miocènes ne firent que les accentuer.

A notre avis la première migration des hydrocarbures avait eu lieu déjà avant l'Aquitaniien quand ces décrochements se produisirent. Les structures dans lesquels les gisements primitifs se trouvaient furent découpés et, si nécessaire, un réajustement eu lieu dans chaque compartiment.

Dans le *canton de Genève*, nos observations ne confirment pas certaines structures indiquées ou suggérées sur la feuille 12 de l'Atlas géologique suisse, entre autres plusieurs anticlinaux dans la région de Satigny-Peissy-la London, et en particulier un pendage au NW au sommet du coteau de Bernex impliquant un synclinal alors qu'on s'y trouve sur le flanc SE d'un important monoclinal.

Dans le canton de Genève, d'E en W, on déduit et on observe les structures suivantes:

Axe anticlinal du Salève, synclinal de la Seymaz, axe de Cologny, synclinal du Petit Lac, axe des Teppes Duclos et de Pregny, synclinal de Valleiry et sillon de Montfleury, Jura.

Un trait de structure commun aux quatre grands coteaux genevois de Bernex, Satigny, Pregny et Cologny, est la présence sur le flanc oriental de chacun d'eux, et plongeant au secteur E, de calcaires d'eau douce et de marnes à gypse du Stampien supérieur, surmontant la Molasse rouge qui forme le corps même des coteaux.

Entre le coteau de Satigny et celui de Bernex, de même qu'entre celui de Cologny et de Pregny, doit donc passer un accident tectonique, flexure, faille ou synclinal.

Le synclinal de Valleiry semble se fermer au N. Jusqu'à présent nous n'avons observé aucun pendage à l'W entre Bernex et le Rhône *); par contre nous savons par

*) Ils ont été cependant observés par Paréjas lors d'un abaissement du niveau du fleuve (C.R.S. Soc. Phys. et d'Hist. Nat. de Genève, p. 76, 1944).

le résultat de sondages pour l'eau et de sondages électriques, qu'un sillon important, dirigé NE—SW, le Sillon de Montfleury, est tracé de Peney par Cointrin, Ferney, jusqu'à Versoix où il rejoint peut-être le synclinal du Petit Lac. Ce sillon de Montfleury, qui prolonge le synclinal de Valleiry, correspond probablement à une flexure ou à une faille séparant le monoclinale de Satigny de l'axe des Teppes Duclos (Bernex).

Le coteau de Bernex, avec ses pendages dans le Stampien supérieur au secteur E, correspond au flanc oriental d'une importante structure.

Au N du coteau de Bernex il semble qu'on observe un plongement axial de l'axe des Teppes Duclos ainsi qu'une sorte de fermeture dans les marnes gypseuses présentes dans le ravin de l'Avanchet, à Châtelaine et à Lancy. L'axe des Teppes Duclos serait relayé, au delà de cette dépression axiale, par la structure de Pregny.

Les axes de Pregny et des Teppes Duclos sont flanqués à l'E par le Synclinal du Petit Lac, lequel est très marqué en gravimétrie.

Le coteau de Cologny en Molasse rouge est recouvert, comme les autres, par des calcaires d'eau douce du Stampien supérieur sur son flanc alpin.

Enfin, l'axe de l'anticlinal du Salève doit traverser le territoire genevois dans la région de Jussy. Il est probable que le revers occidental de cette structure est accompagné d'une faille importante. Sur la trace de l'axe du Salève on trouve un unique affleurement de Molasse rouge, plongeant au secteur E, dans la Seymaz, en dessous du cimetière de Presinges. Entre cet affleurement et le Stampien supérieur calcaire du flanc oriental de Cologny passe donc un synclinal, le Synclinal de la Seymaz. Il est évident que l'axe du Salève dans la région de Jussy, l'axe de Cologny et celui des Teppes Duclos constituent des structures qui méritent le test d'un forage.

Le Salève. Cet anticlinal, qui a fait l'objet d'une monographie modèle de la part de MM. Joukovsky et Favre, est long de 35 km et large de 3 km au maximum. Il est sectionné en six tronçons d'inégale longueur par cinq décrochements. C'est une structure asymétrique en calcaires jurassiques et crétacés. Il possède un jambage vertical du côté du bassin genevois tandis que le flanc alpin plonge de 25 à 50°. L'extrémité septentrionale plonge axialement sous la Molasse dans l'Arve à Etrembières. Cet anticlinal subdivise en deux le Bassin molassique périalpin, en une partie dite genevoise, l'autre dite subalpine. Divers indices s'échelonnent le long de cette structure. Trois sources sulfureuses se rencontrent le long du Salève, à Chantepoulet, à Bromines et au Pont de la Caille. Enfin, voici 175 ans, au bord de l'Arve, «700 pas au-dessus du Pont d'Etrembières», sortait d'un rocher une quatrième source sulfureuse qui s'annonçait par une «très forte odeur», comme nous le dit H. B. de Saussure dans ses «Voyages dans les Alpes».

Le flanc oriental du Salève draine une aire considérable et si des hydrocarbures ont été générés dans le milieu subalpin, ceux-ci auront eu tendance à venir s'accumuler dans le flanc oriental du Salève. Si des réservoirs dans des horizons en tout cas plus anciens que le Jurassique supérieur sont présents, c'est une structure qui pourrait présenter de l'intérêt.

C. *Le Chablais*

La partie intéressante du Chablais est comprise entre les Préalpes à l'E et le lac Léman au N et à l'W, de la frontière genevoise au S jusqu'à Thonon au N. Cette région fait partie du Bassin molassique périalpin. Sauf au Mont de Boisy, partout ailleurs elle est recouverte de dépôts morainiques, d'alluvions et même aux environs d'Excenevex par des dunes.

Mais le Mont de Boisy nous procure d'excellents affleurements de Molasse. Dans les petites parois sous le château de Thenières, dans le ruisseau de la Caille, et dans le ruisseau des Pessays, on rencontre le Stampien supérieur (?), grès, calcaires compacts blancs à la patine, fétides, à gastéropodes et des marnes bien stratifiées à gypse. Dans les petites parois sous le château de Thenières, on observe même un gros banc de gypse d'une cinquantaine de centimètres d'épaisseur. A l'Est de ce Stampien supérieur on observe une puissante série de grès rougeâtres, de marnes bariolées, que l'on rencontre partout sur le Mont de Boisy. Cette série, que nous attribuons sans aucune preuve paléontologique au Stampien ou à l'Aquitaniien, mesure plus d'un millier de mètres de puissance d'après la coupe relevée dans le Foron. A plusieurs reprises, on y rencontre des bancs puissants de 5 à 10 m, de grès polygéniques rougeâtres, plus ou moins tendres, compacts à la base, à stratification entrecroisée au sommet. Ces grès forment presque en totalité le flanc structural sud-est du Mont de Boisy. Aucun niveau fossilifère, soit à gastéropodes, soit à mammifères, n'a été trouvé jusqu'à présent.

A part quelques affleurements plongeant au NW de 16 à 55 °, dans le Foron près de Sciez, toutes les couches de la molasse de Boisy plongent au SE, Le coteau de Boisy serait donc un monoclinal. Il nous paraît probable que nous avons à faire là à l'axe anticlinal du Salève ou à l'axe d'une structure qui relaie celui-ci vers le NE. Cet axe passerait donc par la région de Jussy puis longerait le pied du Mont de Boisy.

Au N du Mont de Boisy, les pendages indiquent qu'il faut s'attendre à une culmination entre Sciez et Thonon.

Entre le Mont de Boisy et le lac, doit se situer tout d'abord le synclinal adjacent à l'axe du Salève, à l'W de celui-ci (synclinal de la Seymaz), puis de nouveau un axe anticlinal dont le flanc occidental se raccorderait au synclinal du Petit Lac. Ce serait l'axe d'Yvoire, que nous avons vu plus ou moins indiqué par la géologie de surface au coteau de Cologny.

L'intérêt d'une structure à cet endroit du Bassin molassique est évident. La Molasse procure une excellente couverture, et la possibilité de trouver la base de la Molasse et de l'Urgonien imprégnés doit retenir fortement l'attention. La structure supposée d'Yvoire serait très intéressante, protégée du «flushing» par le synclinal du Petit Lac et celui de la Seymaz. A part les premiers objectifs à la base de la Molasse et dans l'Urgonien s'ajoutent des réservoirs possibles dans le reste du Mésozoïque. D'une part, l'Urgonien imprégné de Divonne ainsi que la Molasse imprégnée de la Versoix sont à 12 km à vol d'oiseau à l'W, le Mauremont et le Pont des Douattes sont à 40 km, l'un au N, l'autre au S. D'autre part la zone subalpine avec son Néocomien et son Rupélien générateurs d'hydrocarbures se trouve enfouie à l'E sous les masses préalpines.

D. Région subalpine

Cette région est limitée au N par les masses préalpines charriées, à l'Est par les chaînes du Massif des Bornes, à l'W par le Salève et au Sud par le Fier.

Nous n'avons pu encore débrouiller à fond la structure de cette région. La stratigraphie y est des plus déroutantes, le Stampien et l'Aquitaniien n'y sont pas représentés sous leur faciès habituels, le contact avec la Molasse subalpine rupélienne n'est pas clair; bref, toute une étude est encore à faire!

Les pendages relevés entre le Salève et la Fillière sont tous en général au secteur E à SE. Toutefois dans la région des Ollières, nous notons la présence d'un synclinal,

le synclinal des Ollières. Les sédiments observés entre le Salève et le synclinal des Ollières sont très puissants (1000 à 1500 m), attribués sans preuve au Chattien et à l'Aquitainien.

Dans la région de La Roche, on observe, dans une petite carrière au S de la route La Roche—Bonneville, des grès rupéliens plongeant de 60 ° au secteur SSE. Ces grès étant vraisemblablement plus anciens que les grès qu'on observe immédiatement à l'E du Salève et au S de Reignier, il s'ensuit qu'une structure ou un large chevauchement doit exister aux environs de La Roche, cet affleurement en indiquerait le flanc oriental.

Du point de vue pétrolier, cette région subalpine me paraît pleine d'intérêt; en effet, cette région, bien couverte par la Molasse, se situe dans la zone de passage entre deux domaines de sédimentation, l'un plus subsident aux séries plus complètes et plus puissantes, et l'autre aux séries moins épaisses, moins complètes et de faciès de faible profondeur. D'autre part, le Néocomien subalpin présente des indices de gaz et nous avons cité encore d'autres indices d'hydrocarbures dans les chaînes subalpines. Toute structure que l'on pourrait définir correctement dans la zone molassique subalpine serait donc très intéressante. Il faut également s'attendre à des pièges stratigraphiques, du fait de la terminaison en biseau vers le NW d'horizons ou d'étages présents dans la zone subalpine.

Bibliographie

- Althaus, H. E.* (1947): Die ölführende Molasse zwischen Genfer und Neuenburger See. Mat. Carte Géol. de la Suisse, Série géotechnique, Livr. 26.
- (1947): Ueber geologische Untersuchungen im Gebiet der ölführenden Molasse im Kanton Genf. Mat. Carte Géol. de la Suisse, Série géotechnique, Livr. 26.
- Bonet, Frederico* (1952): La Facies Urganiana del Cretacico medio de la Region de Tampico. — Bol. Ass. Mex. de Geol. Petroleros, vol. IV, N° 5—6, p. 153.
- Bonte, A., et al.* (1953): Le Bassin Houiller de Lons le Saunier. Publications du B.R.G.G., N° 10.
- De Maistre, J.* (1951): Description sommaire du Bassin de la Loire. Revue de l'Industrie minière.
- Dreyfuss, M.* (1949): Réflexions sur les recherches de pétrole dans le Jura. Bull. de la Soc. d'Hist. nat. du Doubs, N° 53, p. 13, 1949.
- Frey, Max* (1922): Die Asphaltlagerstätten im schweizerischen Juragebirge mit besonderer Berücksichtigung des Val de Travers. Mat. pour la Carte géol. de la Suisse, Série géotechnique, Livr. IX.
- Gignoux, M., et Moret L.* (1926): Sur l'origine des asphaltes du Jura méridional et sur les migrations descendantes des hydrocarbures. Ann. Univ. de Grenoble, t. 3, N° 2.
- Goguel, J.* (1950): Constitution géologique des dépressions périalpines de la Saône et du Rhône d'après la prospection géophysique. Int. Geol. Congress, Part V, p. 59.
- Heim, Arnold, et Hartmann, Adolf* (1919): Untersuchungen über die petrolführende Molasse der Schweiz. Mat. pour la Carte Géol. de la Suisse, Série géotechnique, Livr. VI.
- Heim, Arnold* (1922): Le sondage pour la recherche du pétrole à Challex (Ain). Eclogae Geol. Helv. XVII, p. 115.
- Jaccard, A.* (1890): Etudes géologiques sur l'asphalte et le bitume au Val de Travers, dans le Jura et la Haute Saône. Bull. Soc. Sc. nat. Neuchâtel, XVII, p. 108—212.
- (1892): L'origine de l'asphalte, du bitume et du pétrole. Eclogae Geol. Helv. II, p. 87—153.
- Lagotala, H.* (1935): Les gites bitumineux de Dardagny. Le Globe, Mém. Soc. Géogr. de Genève.
- (1947): Quelques résultats du sondage de Peissy (Genève). C. R. séances Soc. phys. et d'hist. nat. de Genève. Vol. 64, N° 3, p. 73.
- (1947): Sédimentation et bituminisation. Idem p. 77.
- Maikowsky, V.* (1952): Le pétrole dans le Haut-Rhin: le sondage de Stafellfelden IVD. P. XXV. Bull. trimestriel N° 1, Société Industrielle de Mulhouse.

- Marie, M.* (1952): Nouveaux résultats des explorations pétrolières en Alsace (Bas-Rhin), France. Bull. V.S.P., N° 57, p. 31.
- Millioud, M.* (1952): Les indices d'hydrocarbures du pied du Jura vaudois et la question du pétrole en Suisse. Bull. V.S.P. N° 56, p. 11.
- Moret, Léon* (1925): Enquête critique sur les ressources minérales de la Province de Savoie. Ann. Université de Grenoble, t. II, Nos 1 et 2.
- Pittard, J.-J.* (1931): Le bitume du calcaire urgonien et de la Molasse à Pyrimont (Ain). Arch. Sc. phys. et nat. 5ème période, vol. 13, p. 142.
- Rickenbach, E.* (1947): Asphaltvorkommen. Mat. carte géol. de la Suisse, Série géotechnique, Livr. 26.
- Schardt, H.* (1891): Etudes géologiques sur l'extrémité méridionale de la première chaîne du Jura. Bull. Soc. vaudoise des Sc. nat., XXVII.
- (1910): Note sur les gisements asphaltifères du Jura. Bull. Soc. neuchâteloise Sc. nat. XXXVII, p. 398—424.
- Schoeffler, J.* (1941): Les sondages aux gaz de Vaux en Bugey. Annales des Mines, Treizième Série, T. XVIII, 5e livr. de 1941, p. 205.
- Schuppli, H. M.* (1950): Oelgeologische Untersuchungen im Schweizer Mittelland zwischen Solothurn und Moudon. Mat. Carte géol. de la Suisse, Série géotechnique, Livr. 26.

Cartes géologiques

France:

Feuilles au 1 : 80 000, 139 Pontarlier, 149 St-Claude, 150 Thonon, 160 Nantua, 160bis Annecy.
Carte géologique du Salève au 1 : 25 000 par Joukowsky et Favre J. 1913.

Suisse:

Atlas géologique de la Suisse au 1 : 25 000, Feuille N° 12 (= partie SW du Canton de Genève), 1938.

Carte géologique générale de la Suisse 1 : 200 000, Feuilles 1 Neuchâtel, 2 Bâle-Berne, 5 Genève-Lausanne.

Carte géologique du Canton de Genève 1 : 25 000, par *Alph. Favre*, 1878, Feuilles I, II, III et IV.



