Zeitschrift: Bulletin de la Société Neuchâteloise des Sciences Naturelles

Herausgeber: Société Neuchâteloise des Sciences Naturelles

Band: 37 (1909-1910)

Artikel: Mélanges géologiques sur le Jura Neuchâtelois et les régions limitrophes

Autor: Schardt, H.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-88563

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 11.12.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

MÉLANGES GÉOLOGIQUES

sur le Jura Neuchâtelois et les régions limitrophes

PAR LE Dr H. SCHARDT, PROFESSEUR

Huitième fascicule

(AVEC VINGT-UN CLICHÉS ET CINQ PLANCHES)

CONTENANT :

XXXVI. Le lac des Brenets et la baisse du Doubs en 1906.
XXXVII. Note sur la géologie du Plan de l'Eau et la stratigraphie du Dogger des Gorges de l'Areuse.
XXXVIII. Dents de Polyptychodon du Hauterivien supérieur.
XXXIX. Note sur un éboulement survenu près de La Neuveville en février 1909.
XL. Découverte d'un chevauchement sur le flanc de la chaîne du Lac, près de La Neuveville.
XLI. Le cours souterrain de la Ronde (La Chaux-de-Fonds).
XLII. Sur une coupe de la Molasse aquitanienne à la Poissine près d'Onnens.
XLIII. Sur la découverte d'un rognon manganèsifère dans le Hauterivien supérieur.
XLIV. Découverte d'une nouvelle poche hauterivienne dans le Valangien aux Fahys sur Neuchâtel.
XLV. Un décrochement transversal au chaînon de Châtollion.
XLVI. Note sur les gisements asphaltifères du Jura neuchâtelois.
XLVII. Sur une carrière romaine à La Lance près de Vaumarcus.

XXXVI

Le lac des Brenets et la baisse du Doubs en 1906.

(Note complémentaire au N° XX des *Mélanges géologiques*, avec une planche.)

La notice sur l'origine du lac des Brenets, insérée dans le quatrième fascicule des « Mélanges géologiques » *(Bull. Soc. neuch. Sc. nat.*, t. XXXI, 1902-1903) m'a donné l'occasion de décrire la forme, les dimensions et l'origine de ce lac remarquable et d'énoncer les caractères de son régime.

La baisse extraordinaire de son niveau, résultant d'une

diminution tout à fait inouïe du débit du Doubs, survenue pendant l'automne 1906, a permis de faire un grand nombre de constatations nouvelles, concernant soit la configuration du bassin lacustre lui-même, soit le régime de ses eaux et les voies par lesquelles se produisent les pertes qui sont la cause de ses oscillations de niveau.

En attendant que paraisse la publication spéciale que projette l'« Hydrographie nationale suisse »[1], et à laquelle j'ai promis ma collaboration, en ce qui concerne la géologie et l'hydrologie, je me contente de donner dans ce qui suit, sous forme d'une simple énumération de faits et de dates, ce qui est le plus en mesure de servir de complément à ma notice de 1903.

Une demande de concession présentée en 1905, en vue d'utiliser le lac des Brenets comme bassin de régularisation pour la création de force motrice hydraulique, a provoqué de la part du Département des travaux publics du canton de Neuchâtel une enquête sur les conditions qui résulteraient pour les riverains et les pêcheurs de l'exécution de ce projet. Le Bureau hydrométrique fédéral d'alors s'est associé à ces études en procédant à des jaugeages de précision du débit du Doubs et de toutes les sources qui paraissent être les émissaires souterrains de ce lac. En vue de se rendre compte d'une manière certaine de cette relation entre le lac et les sources qui jaillissent au pied du seuil du Saut du Doubs et sur les deux rives à l'aval de celui-ci, sur une longueur de plus d'un kilomètre, on a profité de la réduction extrême du volume d'eau contenu dans le lac, qui était tombé à environ le quart de ce qu'il contient en eaux moyennes, pour faire un essai de coloration avec de la fluorescéine. Cette expérience a eu lieu du 12 au 13 septembre 1906 au moyen de vingt kilogrammes de cette matière colorante, le lac contenant environ 1 500 000 m³ d'eau. Sur un point de la rive française, où il y a, à environ 500 m. en amont du déversoir du Doubs,

[1] Le bureau hydrométrique fédéral, annexé jusqu'en mars 1909 à l'inspectorat fédéral des travaux publics, a été transformé à cette date en un service indépendant, sous le titre de « Hydrographie nationale suisse ». Nous conservons dans ce qui suit l'ancienne dénomination, puisque notre étude se rapporte à une date antérieure à cette transformation : elle aurait dû paraître déjà en 1908.

J'accomplis un devoir bien agréable, en exprimant ici à M. le Dr J. Epper, directeur de l'« Hydrographie nationale suisse », ma très sincère reconnaissance pour la complaisance avec laquelle il a bien voulu mettre à ma disposition les résultats de ses études, ainsi que les nombreuses photographies et la belle publication « Le développement de l'hydrométrie en Suisse ». Les données concernant la limnimétrie et les jaugeages sont extraites de cet ouvrage. M. Epper a également eu l'obligeance de lire les épreuves de ces pages et de vérifier les chiffres.

deux ouvertures absorbantes, on a introduit une quantité plus forte de fluorescéine dans le courant allant sous terre. Le résultat a été que toutes les sources jaillissant en aval du Saut ont été influencées, celles près de la ruine du Moulin de la Roche sur rive française plus fortement que les autres. C'est donc elles qu'alimente plus spécialement la perte de la rive gauche du lac.

J'ai assisté aux constatations relatives à cet essai de coloration et ai visité les lieux à plusieurs reprises, soit avant soit après, jusqu'au moment où la hausse des eaux a commencé à se produire.

Contrairement à la baisse extrême de 1893, qui est cependant restée $3^{m},06$ au-dessus de celle de 1906, nous possédons de celle-ci d'innombrables photographies de toutes les parties du bassin lacustre dépouillé de son eau. Elles émanent soit de photographes professionnels, et ont été reproduites dans les journaux illustrés et surtout sous forme de cartes postales illustrées; d'autres ont été prises par des amateurs: mais les plus remarquables ont été faites par M. Lütschg, alors ingénieur au bureau hydrométrique fédéral. Elles constituent une série unique, car elles ont été prises dans le but spécial de mettre en lumière les diverses particularités des berges et talus sous-lacustres et du fond à l'état émergé; elle comprend également des vues des diverses sources sortant des flancs rocheux du canyon à l'aval du Saut.

D'autres observations très intéressantes, qui ont été fixées par les photographies, ce sont les phénomènes de glissement et de tassement des dépôts vaseux qui forment le fond du lac. Il est dommage qu'on n'ait pas profité de l'occasion pour faire des sondages avec une simple tarière ou une barre de fer pour connaître l'épaisseur du remplissage vaseux au-dessus du fond rocheux du bassin lacustre. Ce sera la tâche de la plus prochaine baisse.

Il a été possible pendant cette longue baisse de 1906, surtout pendant le mois d'octobre, de relever de nombreux détails sur le rôle et le fonctionnement des sources sous-lacustres qui alimentent le lac des Brenets d'une manière fort appréciable, sinon ses fluctuations de niveau seraient bien plus considérables encore. Pendant la période de sécheresse de 1906, leur appoint était même pendant quelque temps plus considérable que le débit du Doubs aux Villers. Elles jaillissent pour la plupart sur le fond du lac, près des bords, en poussant de bas en haut à travers la couche de limon qu'elles percent en forme d'entonnoir largement ouvert. Elles pré-

sentent la particularité de tarir au fur et à mesure que la baisse du lac s'accentue. A la fin de la baisse de 1906, ce n'était plus guère que la source inférieure de l'Arvoux qui débitait encore de l'eau.

Le bureau hydrométrique a profité de la baisse de 1906 pour compléter le système des échelles limnimétriques du lac des Brenets et pour en relier le zéro au nivellement de précision de la Suisse. Ainsi que j'ai eu l'occasion de le relever dans ma note, on était resté dans l'incertitude quant à ce niveau, cela d'autant plus que les publications parlant du lac des Brenets ont utilisé alternativement les chiffres du nivellement neuchâtelois et ceux du nivellement français qui diffèrent du nivellement de précision de la Suisse, pour les uns de $2^m,81$, pour d'autres de $3^m,20$. Le nouveau nivellement a fait reconnaître que cette différence est en réalité de $3^m,275$. Le niveau du zéro du limnimètre a été trouvé de $738^m,748$ ($735^m,473$ pour le nivellement français). Le niveau du repère n° 145, placé devant le bâtiment des douanes suisses, se trouve donc à $758^m,608$ ($755^m,333$ niveau français). L'observation des niveaux du lac ne se faisant que jusqu'à la seconde décimale nous arrondirons la cote du zéro à $738^m,75$.

Les résultats des observations limnimétriques du lac des Brenets, rapportés au nouveau nivellement, se trouvent exposés dans la magnifique publication du Bureau hydrométrique fédéral : *Le développement de l'hydrométrie en Suisse*, parue en 1907. Ce volume a figuré déjà comme manuscrit à l'exposition internationale de Milan en 1906. La publication définitive a été considérablement augmentée et enrichie, en particulier en ce qui concerne le lac des Brenets, de plusieurs des meilleures et des plus intéressantes photographies prises pendant la baisse de 1906.

Il résulte de ces documents que le niveau le plus bas du lac des Brenets est intervenu le 5 octobre 1906 par $-0^m,86$, soit à la cote $737^m,89$. Le niveau le plus haut, atteint lors de la crue extraordinaire du 28 décembre 1882[1], a été de $19^m,39$ au-dessus du zéro ($758^m,14$); le battement extrême du niveau du lac des Brenets observé jusqu'ici est ainsi de $20^m,25$.

Voici encore quelques chiffres déduits des observations limnimétriques poursuivies pendant les années 1892 à 1906 :

[1] Sur la planche annexe à ma notice de 1903 se trouve indiqué, comme date du plus haut niveau, le 12 février 1882; c'est une inadvertance qu'il faut corriger en mettant la date du *28 décembre 1882*, ainsi que le dit d'ailleurs le texte.

Hauteur moyenne des eaux	14m,54	753m,29
Niveau maxim. de cette période, 9 mars 1896	18m,95	757m,70
Niveau le plus bas, 5 octobre 1906	— 0m,86	737m,89
Ecart entre le maximum et le minimum . .	19m,81	
Niveaux hivernaux moyens	15m,03	753m,78
Niveaux estivaux moyens	14m,26	753m,01
Niveaux annuels maxima	17m,62	756m,37
Niveaux annuels minima	8m,92	747m,67

Voici maintenant les observations spéciales faites au cours de la grande baisse de 1906 :

I. Marche de la baisse du niveau du lac des Brenets de juin à novembre 1906.

Au commencement de juin 1906, le niveau du lac était à 16m,05. La baisse a commencé à s'amorcer à partir du 4 juin, d'abord graduellement et avec quelques hésitations, puis dès le 25 plus fortement et régulièrement de la valeur d'environ un demi-mètre par cinq jours jusqu'au 24 juillet où le niveau n'était plus qu'à 10m,40. Une petite crue de 0m,50 survient entre le 24 et le 28 juillet. Mais à partir du 30 la baisse reprend jusqu'au 5 octobre, sans presque aucune hésitation et avec une rapidité plus grande qu'en juillet, puisque pendant ces 66 jours la baisse totale a été de 11m,76. Un très léger ralentissement de la baisse s'est manifesté entre le 16 et le 23 septembre, ensuite de deux chutes de pluie survenues dans cette période. Elles ont produit 12 et 10 mm. de hauteur d'eau, mais elles n'ont pas été capables d'arrêter l'abaissement du niveau du lac, tant le terrain était desséché. Le 4 et le 5 octobre, enfin, il pleut avec 9 et 22 mm. d'eau. La baisse du niveau s'arrête subitement et le niveau du lac monte de presque 1 m. dans la journée du 6; il atteint 0m,11 le 8; mais il cesse de monter, la pluie s'étant arrêtée. Du 9 au 14, la baisse reprend de la valeur de 29 cm.; le 14, le niveau de l'eau est de nouveau à — 0m,18. Il pleut de nouveau du 13 au soir au 15 le matin, mais moins que précédemment, car le 14 il ne tombe que 20 mm. d'eau. Cependant le sol s'est déjà suffisamment saturé d'eau pour que les affluents du lac en grossissent, si bien que du 14 au 17 octobre il se produit une hausse de plus de 2 m.; à cette dernière date, le niveau du lac était à 1m,96. Mais ce n'est pas pour longtemps, car aussitôt une baisse régulière intervient qui se continue jusqu'au 4 novembre, date à laquelle le lac est de nouveau tout

près de 0. Il a plu déjà un peu le 2 novembre; le 4, il tombe 32 mm. de pluie, 22 le 5, 14 le 6 et 4 le 7. Il ne fallait pas moins pour produire la hausse subite qui a mis définitivement fin aux niveaux bas du lac. Le 5, vers le soir, la hausse s'amorce subitement et rapidement à tel point qu'en 19 heures elle représente 8m,85, soit presque un demi-mètre par heure (0m,466), et le 10 novembre le niveau du lac était à 15m,25. De nouvelles pluies étant survenues du 15 au 21, avec une chute de 41 mm. le 18, le niveau monte encore jusqu'à 16m,64 le 6 décembre, en dépassant de plus de 2 m. la hauteur moyenne.

La crue exceptionnelle qui s'est produite après le 5 novembre est un phénomène inouï, explicable seulement, au moins pour la première partie, par la faible surface que présentait le lac en ce moment. Mais au fur et à mesure que le niveau montait, la surface devenant plus grande, la hausse devait devenir moins rapide pour une même valeur du débit des affluents.

II. Observations faites sur la configuration du bassin sous-lacustre mis à découvert.

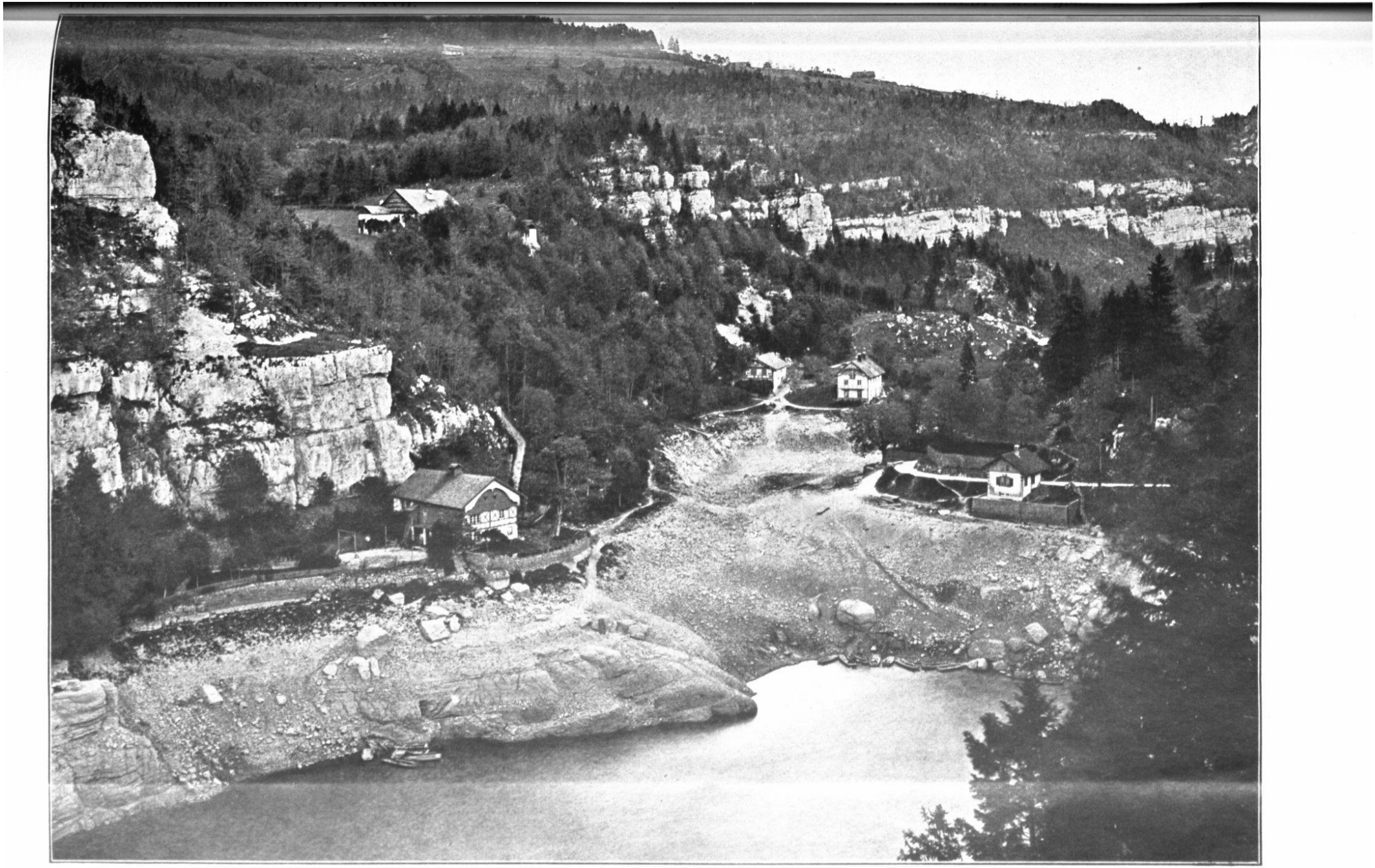
Le fond du lac des Brenets est formé par une épaisse couche de vase semi-fluide, sur laquelle il est impossible de se mouvoir, à moins d'y placer des planches suffisamment larges. Des personnes qui se sont aventurées imprudemment sur le fond fraîchement émergé ont risqué de s'enliser. Ce fond s'est tassé pendant la durée de l'émersion, soit par dessiccation progressive, en devenant plus ferme et plus résistant, et en se crevassant à la surface, ce que font bien voir plusieurs des photographies. Sur les berges où les éboulis se mêlent à ce terrain vaseux, on constata de très jolies lignes d'érosion bien parallèles qui dessinaient les progrès de la baisse de l'eau. Ce sont les petites vagues de ce lac minuscule qui ont formé ces lignes, en érodant légèrement le terrain argileux et pierreux dont les berges sont composées. Plusieurs des photographies permettent de le saisir avec la plus grande évidence.

Dans la partie du fond du lac mise à découvert, le Doubs s'est creusé aussitôt un nouveau lit, ce qui devait être d'autant plus facile que le terrain vaseux en question ne présente aucune consistance. La rivière, malgré son débit très faible, s'est creusé un lit de 2 à 3 m. de profondeur. Cet approfondissement rapide a eu comme conséquence de provoquer des

glissements dans les berges nouvellement formées. C'est ainsi qu'une grande quantité de vase a été entraînée dans la partie subsistante du lac. Il n'a pas été fait de relevé de ce lit temporaire du Doubs sur le fond du lac émergé. D'après les quelques croquis à distance que j'en ai faits, il suivait sensiblement le milieu du bassin en se contournant parallèlement aux parois de celui-ci. A l'Arvoux, il passait à proximité des sources sous-lacustres, en se rapprochant donc notablement du bord E. Cette circonstance s'explique peut-être par le fait que le jaillissement de ces très fortes sources empêche la sédimentation du limon de se faire ici dans la même mesure que dans les autres parties du bassin, en sorte que le fond dans leur voisinage est plus bas que du côté ouest; le Doubs, en se choisissant son lit, devait avoir la tendance à se rapprocher des dites sources. C'est ce qui a eu lieu également lors de la baisse de 1893, d'après ce qui ressort d'une des rares photographies de l'époque. Il semble même que le lit du Doubs de 1906 a suivi sensiblement la trace de celui de 1893, d'après ce que permet de voir la même photographie. Il n'est d'ailleurs guère douteux qu'en 1893 le lit s'est creusé dans la vase presque à la même profondeur, bien que la durée de la baisse n'ait été que de deux mois et le maximum à peine de quelques jours; ce n'est que pendant dix jours, en 1893, que le niveau s'est trouvé plus bas que 6 m. Si depuis lors le sillon n'a pas été entièrement nivelé, mais qu'il a été conservé, même vaguement, sous forme d'une faible dépression, il est évident que la rivière devait forcément suivre ce lit préparé ou du moins amorcé d'avance.

On fait commencer ordinairement le lac des Brenets à partir des sources de Chaillexon, où le lit du Doubs, bien que presque stagnant déjà à partir du pont de Villers, s'élargit en forme de lac. Au moment de l'extrême baisse, le 5 octobre, la longueur du lac était réduite à environ trois septièmes de sa longueur normale, donc un peu moins que la moitié; le volume de ce qui restait alors du lac était peut-être un cinquième seulement de la contenance en eaux moyennes.

Il a été possible de constater, conformément aux résultats des sondages de M. Delebecque, que les parois rocheuses du lac ne descendent pas partout à pic jusqu'au fond plat, mais que des talus formés de pierres éboulées mêlées de vase en garnissent le pied au-dessous du niveau normal de l'eau. C'est sur ces talus que l'action des vagues a produit les nombreuses terrasses parallèles traçant la marche progressive de de la baisse du niveau. Il n'y a pas cependant de véritable



Le dernier bassin du lac des Brenets et le barrage par éboulement. *Phot. Bureau hydrograph. féd. 3. X. 1906.*

« beine » ou banc de rivage (blanc-fond), en raison des variations considérables et fréquentes du niveau de ce lac.

La nature du barrage qui a produit ce lac dans le canyon du Doubs est devenue admirablement visible en suite de cette baisse extraordinaire. Partout entre la rive française et la rive suisse, au Cul de la Conche, ce n'est qu'un formidable amoncellement de blocs de tout volume continuant au-dessous du niveau de l'eau l'amas de blocs qu'on voit à la surface. Au milieu de celui-ci se montre sur la rive française, entre le seuil du déversoir et le Saut du Doubs, l'énorme masse rocheuse tombée en bloc. Elle se prolonge au milieu de la gorge dès le pied de la chute jusqu'au Moulin de la Roche. Les nombreuses photographies et cartes postales qui ont été faites et publiées à cette époque en demeurent la preuve et perpétueront le souvenir des constatations faites pendant cette baisse extrême. La vue qui se trouve au bas de la planche 31[1] de la publication le « Développement de l'hydrométrie en Suisse », fait ressortir superbement la situation du barrage d'éboulement et le contact de celui-ci avec la rive rocheuse du côté de l'ouest; elle a été prise le 3 octobre, donc deux jours avant la baisse extrême[1].

III. Les sources sous-lacustres.

On connaissait déjà les sources de Chaillexon et celles de l'Arvoux. Les premières se découvrent fréquemment lors des baisses modérées; les secondes sont bien connues par les patineurs, parce que l'ascension de leur eau abondante et relativement plus chaude que celle du lac en hiver empêche la formation de la glace ou ne laisse se former qu'une couche peu épaisse. Se trouvant entre 8 et 9 m. au-dessous du niveau du lac lors des sondages de M. Delebecque, soit à peu près de 10 m. au-dessous du niveau moyen, elles ne seront à découvert que lorsque le niveau du lac s'abaisse à 4 m. au-dessus du point 0. Cela est arrivé lors de la baisse de 1893 du 15 au 24 septembre. C'est de cette époque que datent les premières photographies de ces sources. Mais la très courte durée de ce phénomène explique aussi la rareté de celles-ci. En 1906, les sources de l'Arvoux ont été à découvert *pendant deux mois complets*, soit du 5 septembre au

[1] Grâce à la complaisance de M. le directeur Epper, il m'a été possible d'ajouter encore cette vue à la présente notice (pl. V); qu'il reçoive mes remerciements sincères pour le prêt du cliché.

5 novembre (62 jours). La baisse de 1898 a descendu le niveau du lac pendant quelques jours, entre le 7 et le 12 octobre, au-dessous de 5 m. (minimum $4^{m},44$ pendant un seul jour). Alors on devait pouvoir remarquer les deux grands entonnoirs à travers la faible couche d'eau qui les recouvrait encore et constater à la surface le bouillonnement dû au courant ascendant de l'eau. Mais une crue très rapide est de nouveau venue les submerger profondément dans l'espace de quelques jours. Donc, jusqu'ici, les sources de l'Arvoux n'ont été émergées qu'à deux reprises seulement.

A part ces deux groupes de sources, j'ai relevé pendant la baisse de 1906 encore une dizaine d'autres plus petites; j'en ai rapporté la position approximativement sur le plan de M. Delebecque. (Voir la planche I, destinée à compléter celle de ma notice de 1903.)

Régime des sources sous-lacustres. — Elles appartiennent pour la plupart au type des sources de Chaillexon et de l'Arvoux qui jaillissent au fond d'entonnoirs traversant la couche de vase du fond du lac. Au moment des crues ces sources sont fortement troublées par la vase que l'eau soulève. Les dimensions des entonnoirs sont en rapport avec le débit de ces sources. Au cours de la baisse du niveau du lac, par suite de la baisse du Doubs, les sources sous-lacustres diminuent également leur débit. Aussi, lors de leur mise à découvert par suite de l'abaissement du niveau du lac, leur débit est ordinairement déjà très faible et bientôt on les voit cesser de couler. C'est ainsi que, déjà le 11 août 1906, donc presque aussitôt après son émersion, la grande source de Chaillexon avait cessé de couler. La rigole par laquelle l'eau s'était temporairement écoulée à la surface de la vase, était entièrement à sec. Cette source n'a plus fonctionné jusqu'au moment de la grande crue. Il en était de même de la plupart des autres sources sortant au fond d'entonnoirs. Dès qu'elles sont émergées, elles cessent de couler. La source inférieure de l'Arvoux seule a fait exception, car pendant toute la durée de son émersion elle a toujours débité au moins une centaine de litres par seconde.

L'explication de ce phénomène peut se donner de diverses manières. Il n'est certainement pas admissible qu'il soit la conséquence d'un tarissement pur et simple de l'eau alimentant le cours sourcier en question, car l'arrêt de l'écoulement de l'eau suit de trop près le moment de l'émersion, pour qu'il ne soit pas évident que c'est bien le changement du niveau du lac qui en est la cause. Alors on peut admettre

que le retrait de l'eau et l'émersion du fond vaseux autour de la source ferme l'ouverture de celle-ci par suite de l'augmentation du poids du terrain. L'eau de la source peut alors se frayer un autre chemin, peut-être au milieu de la rivière, elle-même; toutefois je n'ai pas pu constater aucune de ces entrées d'eau supposées. On pourrait supposer aussi que la fermeture des petits orifices force l'eau souterraine à se déverser par un seul des orifices, le plus spacieux, donc celui qui offre le moins de résistance à l'écoulement de l'eau. Cet orifice serait la grande source de l'Arvoux vers lequel viendraient se concentrer les eaux de toutes les autres sources, au moment où, par suite de la baisse du niveau du lac, leurs orifices viennent à se fermer, ainsi qu'il vient d'être dit. Il est par contre aussi possible qu'un certain nombre de ces sources ne sont alimentées qu'au moment des hautes eaux par des eaux d'infiltration météoriques qui s'ajoutent à des eaux provenant du Doubs lui-même ou d'infiltrations ayant lieu en amont du Villers. Il est évident que lors de la baisse de la rivière, non seulement les infiltrations provenant de celle-ci ne se font plus autant ou que très difficilement, et aussitôt que l'entonnoir, au fond duquel l'eau pousse de bas en haut, est à découvert, la pression devient ici plus forte par suite de l'augmentation du poids de la vase, et l'orifice se ferme.

Le fonctionnement de ces sources sous-lacustres est tout à fait semblable à celui des sources temporaires connues sous le nom de « bonds » et qui jaillissent sur la plaine morainique de Bière (Vaud). Ces dernières émergent également au fond d'entonnoirs assez profonds traversant la couche de moraine de fond qui constitue le sous-sol de cette plaine. Elles ne fonctionnent qu'au moment des hautes eaux, soit au printemps pendant la fonte de la neige, tandis que dans le voisinage viennent au jour, à un niveau peu inférieur, la grande source permanente de l'Aubonne et, à une altitude de 45 m. plus haut, la source torrentielle temporaire du Toleure. Le fonctionnement de cette dernière coïncide assez exactement avec l'activité de sources boueuses des « bonds ». La source temporaire du Toleure doit être considérée comme un trop-plein de la source de l'Aubonne. Elle se trouve environ 55 m. plus haut que cette dernière, tandis que les « bonds » sont intermédiaires comme position horizontale et verticale. Le fonctionnement de ceux-ci s'explique donc fort bien par l'effet de la pression agissant sur le dépôt de vase qui obstrue le fond des entonnoirs, aussitôt que les canaux creusés dans le calcaire urgonien sous-jacent à la moraine et conduisant

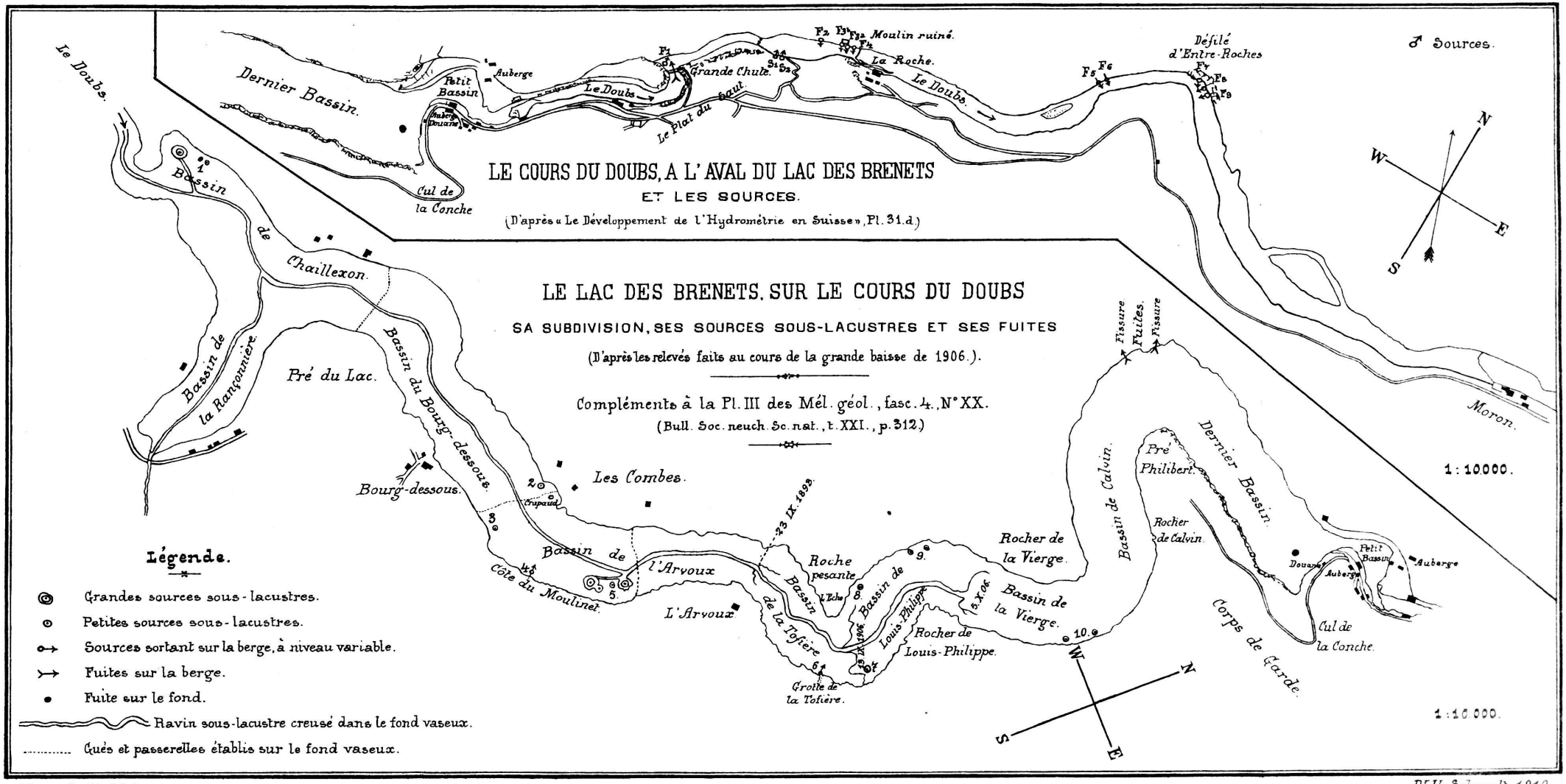
aux orifices de la source de l'Aubonne ne suffisent plus pour débiter la totalité de l'eau et que celle-ci est obligée de refluer pour se déverser par le Toleure.

Les relations des sources sous-lacustres du lac des Brenets avec les eaux permanentes du Doubs et les eaux temporaires météoriques présentent quelque analogie avec ce mécanisme et expliquent fort bien leur fonctionnement périodique; la pression qui entre ici en jeu est cependant bien moindre que celle qui entre en action dans la formation des «bonds» de Bière.

Ces périodicités dans le fonctionnement des sources sous-lacustres mériteraient d'être étudiées d'une manière suivie, en particulier en ce qui concerne le groupe de Chaillexon que la baisse du niveau du lac met bien plus souvent à découvert que les autres. Peut-être que d'une telle étude ressortira la solution définitive du problème que je ne fais qu'énoncer provisoirement.

D'autres sources appartiennent à un type bien différent. Elles sortent du flanc même du bassin lacustre et pénètrent ordinairement dans le lac très près de sa surface, au moins voit-on un courant se déverser dans celui-ci, soit dès la fissure du rocher d'où l'eau s'échappe, soit à travers les éboulis qui recouvrent le pied de l'escarpement rocheux. Chez les sources du précédent type c'est également par une fissure dans le rocher que l'eau doit s'échapper, mais au-dessous de la nappe de vase lacustre qui recouvre le fond.

Ces sources sous-lacustres bordières sont moins sujettes au tarissement complet pendant la baisse du lac, car pour elles la pression de la vase émergée n'existe pas ou dans une bien moindre mesure, puisqu'elle ne forme qu'une couverture sur les éboulis ou un remplissage entre les blocs. Elles présentent en outre la particularité de suivre le mouvement du niveau du lac, surtout celles dont l'eau traverse une couche d'éboulis avant de se déverser dans le lac. Ce déplacement n'est peut-être pas absolument réel et provient en bonne partie du fait qu'au fur et à mesure que le niveau du lac s'abaisse, le débit de l'eau de ces sources se réduit de même, puisque la même cause qui fait baisser le niveau du lac réduit aussi le débit des sources; alors l'écoulement de l'eau par les fissures se fait sur une moins grande hauteur. En outre, il y a lieu de considérer que la baisse du niveau du lac augmente la différence de niveau entre lui et l'eau souterraine et accélère conséquemment la vitesse d'écoulement de celle-ci, en sorte qu'elle se meut sur une moindre hauteur, surtout si son débit se réduit en même temps.



Lith. L. Tercier, Neuchâtel. Dr H. Schardt, 1910.

Voici l'énumération des sources observées, avec quelques détails sur leur importance et leur situation (voir les numéros correspondants sur la planche annexe) :

1. *Groupe de Chaillexon.* — Il est formé d'un grand entonnoir et de deux plus petits. Le premier, qui a été découvert par M. A. Magnin, professeur à Besançon, descend à 9 m. au-dessous du niveau du fond plat. Son diamètre et de 32 m. Le 11 août 1906, il contenait de l'eau stagnante à 19°,5. C'était également le cas des deux petits entonnoirs qui se trouvent à 24 m. de distance du côté E. et à 6 m. l'un de l'autre. Ils mesurent seulement 4 et 6 m. de diamètre. Le premier est oblong et le second bien circulaire. Je n'en ai pas pu mesurer la profondeur, n'ayant pas pu m'en approcher suffisamment vu la nature vaseuse du sol. Leur tarissement doit avoir eu lieu avant leur émersion, car il n'y avait pas de sillon d'écoulement dans la vase. Le grand entonnoir était par contre relié au Doubs par une coulière entièrement sèche, ayant par place jusqu'à 1 m. de profondeur, le Doubs étant lui-même ce jour à près de 3 m. au-dessous du niveau de l'eau dans le bassin. Celle-ci aurait conséquemment dû s'écouler par l'orifice situé sur le fond, si celui-ci avait été ouvert. Il faut donc admettre que la vase ayant glissé vers le milieu de l'excavation, a fait bouchon sur l'ouverture. Ce mécanisme s'observe également chez les « bonds » de Bière et le limon lévigué ainsi y est exploité activement pour l'alimentation d'une tuilerie.

2. *Source des Combes.* — Au pied du promontoire rocheux qui précède sur la rive française le petit îlot connu sous le nom de « Rocher du Crapaud » il y a sur le fond vaseux un entonnoir exactement circulaire d'une quinzaine de mètres de diamètre. Aucune rigole n'atteste un écoulement d'eau après son émersion. Cette source était donc arrêtée dès son isolement d'avec le Doubs.

3. *Entonnoir du Moulinet.* — Peu profond, d'environ 10 m. de diamètre, correspond à une source à eau trouble. Il ne fonctionnait plus comme source le 13 septembre 1906, mais il était encore rempli d'eau fangeuse et relié au Doubs par un sillon le long duquel s'était en outre produite une coulée de boue. L'emplacement de cette source se trouve exactement au commencement des rochers du Moulinet à quelques mètres de leur pied, à environ 250 m. au N.E. du Bourg-Dessous.

4. *Source bordière du Moulinet.* — A environ 80 m. au N.E. de la précédente, jaillit sur la rive une source dont le point

d'émergence s'abaisse avec le niveau du lac. Elle était bien visible le 13 septembre 1906 et donnait encore 10 à 15 litres d'eau par minute.

5. *Groupe de l'Arvoux.* — Il se compose de quatre entonnoirs, dont deux très grands et deux plus petits intermédiaires. Celui du côté d'amont mesure 30 m. de diamètre et a une forme arrondie assez régulière. Jaccard le désigne dans son article à propos de la baisse du Doubs de 1893 sous le nom de *Source de la Mauvaise-Côte,* en mentionnant que son eau est toujours trouble. Alors un couloir faisait communiquer cet entonnoir avec le suivant, tandis que le Doubs passait à très faible distance de celui-ci. C'est le 25 août 1906 que les sources de l'Arvoux devinrent visibles et déjà le 28 la source de la Mauvaise-Côte a cessé de fonctionner. Son niveau s'est légèrement abaissé et la forme circulaire du bassin s'est un peu déformée par suite de glissements de vase sur ses bords. La température de son eau était le dit jour de 10°,1. La profondeur de cet entonnoir est de 4 à 5 m.; mais il doit s'être rempli passablement de vase par suite des glissements de ses bords.

Le second grand entonnoir de l'Arvoux a également 28 à 30 m. de diamètre et se place comme le précédent juste au pied de la rive rocheuse, tandis qu'un talus d'éboulis les sépare sur une longueur d'environ 50 m. La source qui jaillit de son fond n'a jamais tari, bien qu'au cours de la baisse du lac elle ait diminué. Le volume d'eau que cette source débitait était, d'après un jaugeage du Bureau hydrométrique fédéral, le 19 septembre 1906, encore de 423 litres par seconde, donc un tiers de plus que le débit du Doubs qui n'était plus que de 306 litres. La température de l'eau était ce jour de 9°,5, tandis que le 13 septembre j'avais mesuré 9°,1 et le 13 octobre 8°,8. La profondeur de ce grand entonnoir a été trouvée par moi de 8 m., chiffre qui correspond à celui que donne le profil en long du Bureau hydrométrique. On voit nettement comment l'eau s'élève en bouillonnant du fond de la cavité. Un petit entonnoir visible sur le bord ouest laisse échapper de nombreuses bulles d'air.

Un petit entonnoir de 3 m. de diamètre se trouve à 7 m. du bord S. du bassin précédent; son eau était stagnante et aucune rigole n'était visible dans la vase. Il n'a donc pas fonctionné comme source au moment de l'émersion.

A 6 m. de distance au N.E. de l'entonnoir de la Mauvaise-Côte et communiquant avec celui-ci par un large canal se trouve encore un autre petit entonnoir plein d'eau stagnante

de seulement 4 m. de diamètre. Ces deux petits entonnoirs n'ont que quelques mètres de profondeur.

Les quatre cavités qui forment le groupe des sources de l'Arvoux sont évidemment alimentées par le même cours d'eau souterrain, dont l'eau sort sans aucun doute de fissures traversant le calcaire sur lequel repose l'alluvion vaseuse. Au moment des hautes eaux et pendant que le lac est plein, toutes les quatre ouvertures débitent probablement de l'eau; mais au moment de la baisse du lac et des sources, les petits orifices cessent de fonctionner et peu après l'émersion la grande cavité de la Mauvaise-Côte cesse à son tour de couler, en sorte que celle de l'Arvoux, la plus inférieure, débite la totalité de l'eau qui reste.

6. *Grotte de la Tofière.* — La grotte de la Tofière n'est autre chose qu'un canal creusé par les eaux souterraines le long de fissures qui s'ouvrent presque à angle droit dans l'escarpement sur la rive E. du lac, dans le bassin dit de la Tofière. Elle a donné naissance autrefois sans doute à une source volumineuse, tandis qu'actuellement elle ne paraît guère parcourue par de l'eau, au moins n'en ai-je pas aperçu, ni à son entrée, ni sur le talus au-dessous, ni sur le fond découvert par le retrait de l'eau en septembre et octobre 1906. A la hauteur normale du niveau du lac, l'eau atteint à peu près l'entrée de la caverne et elle l'inonde aux hautes eaux. La galerie souterraine est ouverte sur deux fissures verticales présentant très nettement les formes caractéristiques de la corrosion par l'eau. L'intérieur de la grotte en présente de même, partout où le rocher n'est pas trop couvert de vase ou d'enduits stalactitiques. Elle pénètre presque normalement à la direction de la paroi rocheuse et va en descendant; aussi, en temps normal, on rencontre à une faible distance de l'entrée de l'eau stagnante, dont le niveau est le même que celui du lac. Pendant la grande baisse de 1906, elle a été explorée à plusieurs reprises et on a pu y pénétrer sur une longueur de 200 m. environ. Au début le parcours était fort pénible et désagréable par la présence d'une épaisse couche de vase molle occupant le fond et salissant les parois. Cette circonstance prouve que cette galerie n'est certainement pas parcourue par un courant d'eau bien rapide; il semble même que l'eau y reste plutôt à l'état stagnant. Il serait intéressant d'observer cette caverne à ce point de vue; elle fonctionne peut-être aux hautes eaux comme trop plein des sources de l'Arvoux.

7. *Source de la Tofière.* — A environ 80 m. à l'aval de la grotte de la Tofière se trouve sur la beine un entonnoir de 9 m. de diamètre avec une rigole qui était à sec le 13 octobre 1906. Cette source débitait donc de l'eau encore pendant quelque temps après son émersion.

8. *Source de la Roche-Pesante.* — Un bassin de 10 à 12 m. de large se trouve au pied de la Roche-Pesante, sur la rive française du côté amont du bassin de Louis-Philippe. Plusieurs bateaux y avaient été amenés avant sa séparation complète du Doubs et y restèrent finalement échoués.

9. *Sources du bassin Louis-Philippe.* — Deux entonnoirs de moins de 10 m., placés à environ 10 m. de distance sur la beine de la rive française. Aucun des deux ne paraît avoir fonctionné depuis leur séparation du lac.

10. *Sources du bassin de la Vierge.* — Sur la beine de la rive suisse, à environ 65 m. de distance l'une de l'autre, se trouvent deux cavités en forme d'entonnoir. Celle du côté amont a environ 6 m. de largeur et communiquait le 13 octobre par un goulet avec le lac. Une source devait s'en écouler, car la température de l'eau était de 9°,7, tandis que l'eau du lac avait 10°,9.

Sans tenir compte de la grotte de la Tofière, dont le caractère de sources est incertain, il y a ainsi dans le lac des Brenets quinze orifices d'affluents sous-lacustres groupés ou isolés. Ils se trouvent tous dans le voisinage du bord, probablement parce que là la couche d'alluvion est moins épaisse. Plusieurs sont même à plusieurs mètres au-dessus de la partie médiane du bassin.

IV. Emissaires souterrains du lac des Brenets.

Aussitôt que le débit du Doubs et des sources sous-lacustres s'abaisse au-dessous d'un certain chiffre, le déversoir du lac des Brenets, qui est à la cote 750m,42, cesse de fonctionner et l'écoulement se fait dès lors exclusivement par voie souterraine, soit à travers la digue d'éboulement, dont j'ai donné la description dans ma notice de 1903, soit par des fuites qui se trouvent sur les flancs du dernier bassin.

On connaît depuis les sondages de M. Delebecque l'entonnoir qui se trouve près du barrage, en face du bâtiment des douanes suisses, sur le fond plat du lac, dans lequel il s'enfonce de 5m,5 d'après les mensurations du Bureau hydrométrique fédéral, tandis que M. Delebecque l'indique de 4m,6

seulement. Le caractère d'ouverture absorbante de cet entonnoir est attesté par la température de l'eau qui le remplit; elle est égale à celle de l'eau dans son voisinage. Mais il y a encore toute une série d'autres émissaires sous-lacustres. La partie supérieure du barrage, en particulier, doit être perméable sur toute sa largeur, ainsi que l'atteste le remplissage et la vidange du petit bassin entre les deux auberges, lequel précède le lit proprement dit du Doubs. Mais lorsque ce bassin ne communique plus avec le lac, ce qui arrive presque chaque année, ou bien lorsque son déversoir propre ne débite plus, alors qu'il est plein d'eau stagnante, le canal du Doubs étant plus bas (seuil de la chute 739m,75, donc 10 m. plus bas), reçoit sur toute sa longueur des affluents qui pénètrent dans son lit et alimentent la chute du Saut-du-Doubs. Celle-ci ne s'arrête définitivement que par suite d'un abaissement du niveau du lac jusqu'au-dessous de 10 m. On voit alors au fur et à mesure de l'abaissement du niveau que les sources entrant dans le canal du Saut tarissent d'amont à l'aval.

On a découvert sur la rive française, à 300 m. en amont du seuil du lac, juste en face du Pré Philibert, deux ouvertures absorbantes qui correspondent à deux fissures très bien visibles sur la paroi rocheuse en amont. L'absorption se fait à travers les éboulis qui couvrent le talus sous-lacustre.

On peut donc considérer le bassin du lac des Brenets comme très peu étanche dans la partie du dernier bassin. Tandis qu'en amont de celui-ci, la présence de sources sous-lacustres, soit permanentes, soit temporaires, autant sur la rive française que sur la rive suisse, constitue une garantie quasi-absolue contre l'éventualité de fuites.

Ces fuites du dernier bassin alimentent des sources qui apparaissent dans le lit même du Doubs et sur ses berges à partir du pied de la cascade du Saut. L'essai de coloration mentionné plus haut a démontré qu'elles ont toutes leur origine dans le lac.

V. Sources à l'aval du Saut-du-Doubs.

Ces sources jaillissent sur une longueur de 1100 m. environ, dès le pied de la chute, soit de la masse de l'éboulement en bloc, laquelle se prolonge sur la rive suisse jusqu'à la Roche, soit de la roche en place sur la rive française. Il est assez surprenant que ces dernières soient de beaucoup les plus nombreuses et les plus abondantes, en même temps qu'elles sont aussi les plus persistantes.

Il a été constaté au cours de la baisse progressive du lac que les sources les plus rapprochées du Saut ont diminué graduellement, quelques-unes ont même tari complètement. Toutes ont d'ailleurs diminué en même temps sensiblement. Parmi celles qui se trouvent réunies en un groupe, il s'en est également trouvé qui ont entièrement tari, attendu que leur niveau s'est trouvé plus haut que celui des sources principales; elles fonctionnaient donc comme trop-plein de celles-ci. Le tarissement des sources les plus rapprochées du lac (au pied de la chute) est, par contre, attribuable à la baisse du niveau de ce dernier qui a mis à sec les ouvertures absorbantes situées à la partie supérieure du barrage d'éboulement. C'est le phénomène consécutif du dessèchement graduel du Doubs lui-même entre le petit bassin près des auberges et le seuil de la chute.

Les jaugeages faits par les soins du Bureau hydrométrique fédéral montrent en outre que les sources visibles le long de la gorge du Doubs ne sont pas les seuls émissaires du lac des Brenets, car le débit total de ces sources est en un moment donné encore inférieur au débit du Doubs à Villers, y compris l'appoint d'eau de l'Arvoux, les autres sources sous-lacustres étant supposées taries. *Pour que le lac baisse, il faut en effet que le débit des sources émissaires soit supérieur au total des affluents, Doubs et sources sous-lacustres.* La constitution géologique de la région à l'aval du lac des Brenets est telle que la totalité de l'eau souterraine doit venir au jour dans la gorge du Doubs en amont de Moron, car les couches du Jurassique supérieur calcaire se relèvent brusquement près de l'endroit appelé Entre-Roches, où jaillit la dernière source visible, pour laisser percer à Moron les marnes de l'Argovien (Jurassique supérieur marneux) formant ici comme une barrière imperméable.

En comparant les jaugeages du Doubs à Villers, de la source de l'Arvoux, des sources émissaires et du Doubs à Moron, on trouve, d'après la publication de M. l'ingénieur Epper, « Le développement de l'hydrométrie en Suisse », les chiffres suivants :

	Commencement de septembre du 1er au 10	Milieu d'octobre du 16 au 21
Doubs au Villers et source de l'Arvoux	670 l. s.	729 l. s.
Sources à l'aval de la chute . .	620 l. s.	306 l. s.
Doubs à Moron (= fuites du lac).	1538 l. s.	959 l. s.
Eaux entrant invisiblement dans le Doubs	918 l. s.	653 l. s.
Excès des fuites sur les affluents.	868 l. s.	230 l. s.

Il ressort avec évidence de ces chiffres que le débit jaugé des sources visibles ne représente en aucun cas la totalité des fuites du lac des Brenets et qu'une quantité considérable d'eau doit émerger dans le lit même de la rivière. Après le tarissement des sources du pied de la chute, après que le niveau du lac était tombé au-dessous de 1m,9, il restait à la petite chute près de la Roche encore plus de 300 litres par seconde d'eau pénétrant dans le lit même de la rivière — probablement dans le bassin de la grande chute. Entre ce point et la gorge d'Entre-Roches il doit y avoir encore de nombreuses sources submergées. Un jaugeage du Doubs à la gorge d'Entre-Roches même aurait pu le démontrer. Mais puisque entre ce point et Moron l'apparition des marnes argoviennes imperméables exclut toute sortie d'eaux autres que celles qui font partie du système des sources émissaires du lac des Brenets, les jaugeages de Moron peuvent servir à la même démonstration. Elles montrent que les sources visibles sur les berges et parois de la gorge ne représentent que le tiers jusqu'à deux cinquièmes de la totalité de l'eau qui entre dans le lit du Doubs à l'aval de la chute. Les fuites du lac représentaient au commencement de septembre, pendant que son niveau s'est abaissé de 5 à 4 m., environ deux fois et demie le débit des affluents, Doubs et Arvoux, tandis que pendant la seconde moitié d'octobre, pendant la seconde baisse, elles n'étaient que d'un tiers environ supérieures aux affluents. La diminution des fuites par l'émersion successive des orifices absorbants, et sans doute aussi par la diminution de la charge de l'eau, est rendue ainsi bien évidente. Il aurait été intéressant de disposer d'une série complète de jaugeages pendant les premiers jours d'octobre, au moment de la plus grande baisse du lac.

VI. Résultats de l'essai de coloration du lac des Brenets.

J'ai déjà mentionné que toutes les sources visibles ont été colorées par la fluorescéine (20 kg.) introduite dans le lac le 12 octobre. Celles de la ruine du Moulin de la Roche (rive française) plus fortement que les autres, parce qu'on avait introduit une dose spéciale de matière colorante dans les deux orifices absorbants en face du Pré Philibert. Comme il s'agissait d'influencer toutes les fuites pouvant exister sur le fond et les parois de ce qui existait encore du lac des Brenets, on a dissous au préalable la fluorescéine dans des seilles et

des arrosoirs, en la répandant aussi également que possible dans l'eau. Cette opération a pris toute la journée du 12. Les sources près de la ruine du Moulin de la Roche (F 3 et 4) ont été colorées visiblement à l'œil nu dès 6 heures du matin le 13; mais les échantillons prélevés à 1 heure du matin renfermaient déjà des traces de couleur visibles au fluorescope. L'eau du bassin au pied de la grande chute (profondeur 13m,25) est devenue fluorescente vers midi. Les sources jaillissant sur la rive suisse (S 1 et 2) et celles qui sortent de fissures en amont de la gorge d'Entre-Roches ne se sont colorées visiblement que plus tard; ces dernières renfermaient cependant déjà à 6 heures du matin des traces de fluorescéine visibles au fluorescope. Les sources de la rive suisse, qui sont d'ailleurs très faibles, ne proviennent pas directement du lac des Brenets, mais elles sont formées par des fuites du cours du Doubs entre la grande et la petite chute. Un essai de coloration, fait spécialement dans ce but, a influencé ces sources dans l'espace de trois heures.

L'essai de coloration du lac des Brenets n'a pas permis de définir le rôle de l'entonnoir qui se trouve dans le dernier bassin en face de la douane suisse. Si, comme nous sommes forcés de l'admettre avec M. Delebecque, c'est bien un entonnoir absorbant, il doit communiquer avec un orifice déterminé parmi les sources à l'aval de la chute. Je serais tenté d'y voir l'origine des importantes venues d'eau alimentant le grand bassin au pied du Saut qui représente aux plus basses eaux encore 300 l. s. Il serait possible de vérifier la chose au moyen d'une expérience de coloration, en faisant descendre dans cette excavation une bouteille contenant une dissolution concentrée de fluorescéine et en la faisant se renverser après son arrivée sur le fond.

VII. Observations thermométriques et hydrotimétriques.

On avait supposé déjà antérieurement que les grandes sources du Moulin de la Roche (F 2 — F 4) étaient des émissaires du lac des Brenets, bien qu'elles sortent directement de fissures béantes du rocher. Cette hypothèse date de l'époque où il fut question de les utiliser pour l'alimentation de La Chaux-de-Fonds en eau potable. Le résultat des analyses chimiques fut défavorable, en raison de la forte teneur en matières organiques. J'ai toujours considéré les sources jaillissant au pied de la grande chute (F 1) comme étant éga-

lement des fuites du lac. Leur température le prouve en surabondance, car elle varie avec celle de la surface du lac des Brenets. Le 11 août 1906, alors que le lac avait 16°, les dites sources mesuraient 13 à 14°,5, température qui serait presque thermale s'il s'agissait de sources véritables. Les autres sources avaient des températures de 12°,5 à 13°4.

Le 13 octobre, par contre, l'eau du lac des Brenets, étant déjà passablement refroidie, n'avait que 10°,9, les sources ne mesuraient plus que 10 à 11°. Celles de la rive suisse seules faisaient exception avec 12°,6, mais l'eau du bassin au pied de la grande chute avait 12°,5, ce qui constitue une nouvelle preuve que ces sources proviennent bien de ce dernier.

L'eau de toutes les sources avait le 13 octobre 1906 un degré hydrotimétrique de 16°,5 à 17°,5 (degrés français) et une dureté fixe de 4°,5 avec de fortes traces de chlorures et de sulfates, tandis que l'eau du lac des Brenets avait le même jour seulement 15°,5 de dureté totale et par contre 7° de dureté fixe, correspondante aux sulfates et traces de chlorures; mais il s'agit ici d'eau prise à la surface. Il eût fallu en prendre à diverses profondeurs. Il est possible qu'à l'eau des fuites se joint une certaine quantité d'eau souterraine due à des infiltrations à travers le terrain calcaire, ou bien que l'eau dissout du calcaire pendant son trajet souterrain. Les sources proprement dites qui se collectent dans les terrains calcaires du Jura ont, dans la règle, des duretés supérieures à 20°. La faible dureté des sources de fuite du lac des Brenets est donc un argument de plus pour la relation que nous venons de démontrer.

La *source de l'Arvoux* avait le 13 septembre une température de 9°,1 et le 13 octobre 8°,8. Ces températures sont assez conformes à l'altitude de son point d'émergence. En opposition avec les sources de fuite, l'Arvoux porte donc bien le caractère d'une source proprement dite, tandis que les eaux qui jaillissent entre le Saut-du-Doubs et Entre-Roches ne sont que des « résurgences », soit des sources alimentées par des eaux superficielles. Au moment de leur plus faible débit, elles devaient être presque exclusivement formées par de l'eau du lac des Brenets; mais en temps de pluie il doit s'y ajouter encore une quantité variable, parfois très considérable, d'eau souterraine, ce qui explique la grande variabilité de leur débit, phénomène qui n'est pas exclusivement dû aux variations du niveau du lac.

VIII. Subdivision du lac des Brenets.

J'ai déjà rappelé que dans le langage local on distingue deux parties, le « lac des Brenets », proprement dit, ou « lac de Chaillexon », c'est la partie peu profonde allant des Bassots jusqu'à l'Arvoux, et la partie profondément encaissée qui dessine les méandres du Doubs qu'on nomme « bassins du Doubs ». Il est évident qu'au point de vue de la science géographique une telle distinction n'a pas sa raison d'être, d'autant moins que le lac des Brenets, *sensu strictu,* est formé manifestement par la même nappe d'eau que les bassins du Doubs. Ce dernier nom se justifie tout au plus par la forme sinueuse du bassin lacustre qui suit les contours du lit primitif de la rivière.

Pour éviter tout équivoque, nous conserverons le nom de lac des Brenets pour l'ensemble de ce lac. Mais il y a utilité d'établir une fois pour toutes la nomenclature de ses diverses parties, telle qu'elle est en usage dans la région. Elle ressort d'ailleurs aussi de l'analyse de sa configuration. On peut parfaitement adopter le nom de *bassin* pour désigner les divers segments de ce lac.

La partie PEU PROFONDE se divise en quatre bassins :

1. *Bassin de Chaillexon,* va des Bassots jusqu'à Chaillexon.

2. *Bassin des Pargots* ou de la *Ranconnière,* placé à angle droit par rapport au précédent.

3. *Bassin du Bourg-Dessous,* va du Pré du Lac jusqu'à la côte du Moulinet.

4. *Bassin de l'Arvoux* ou du *Moulinet,* placé en face des Combes.

La partie PROFONDE et SINUEUSE se compose de cinq bassins séparés les uns des autres par des promontoires rocheux, placés alternativement sur la rive suisse et française.

5. *Bassin de la Tofière,* séparé du précédent par le promontoire de l'Arvoux et du suivant par la Roche-Pesante, sur la rive française.

6. *Bassin de Louis-Philippe,* séparé du suivant par le rocher du même nom.

7. *Bassin de la Vierge,* que la large masse rocheuse du côté français portant ce nom, sépare du

8. *Bassin de Calvin,* qui tire son nom du promontoire qui le sépare du dernier bassin. Le rocher de Calvin domine le Pré Philibert, une corniche gazonnée assez large.

9. Le *Dernier Bassin,* qui est aussi le plus profond, se prolonge en forme de golfe dans le Cul de la Conche et communique par un goulet avec le

10. *Petit Bassin,* situé entre les deux auberges. Il se dessèche complètement aussitôt que le niveau du lac tombe au-dessous de 748 m. C'est sur le côté E. de ce lac accessoire que s'ouvre l'émissaire superficiel.

XXXVII

Note sur la géologie des environs du Plan de l'Eau et la stratigraphie du Dogger des Gorges de l'Areuse.

(avec un cliché)

Le creusement d'une galerie de captage d'eau, exécutée pour le compte des Services industriels de La Chaux-de-Fonds, pendant les années 1905 à 1907 à travers le coteau de la Ravière, près du Plan de l'Eau, m'a donné l'occasion de faire diverses constatations intéressantes pour la géologie de cette partie des Gorges de l'Areuse.

Ces nouvelles observations se rapportent d'une part au problème de l'existence d'une ancienne vallée d'érosion de l'Areuse au-dessous de l'amas morainique de la Petite-Joux et des Fourches au droit du Creux-du-Van, et d'autre part à la composition stratigraphique du Dogger (Jurassique moyen) que la dite galerie a traversé sur une longueur de 340 m. environ; enfin, la position de l'écaille chevauchée de Dogger qui se poursuit dès le Furcil jusqu'au coteau de Chantemerle, près de Brot-Dessous, a pu être élucidée dans une certaine mesure.

Nous examinerons successivement ces trois sujets différents.

I. La coulière préglaciaire de la Ravière.

La situation du cours actuel de l'Areuse entre la plaine d'alluvion de Noiraigue et celle du Champ-du-Moulin, correspond à une partie très inclinée de la vallée, où la rivière coule presque constamment sur de la roche en place. Elle entame d'abord les couches du Dogger de l'anticlinal du Solmont, puis, à partir du Plan de l'Eau, elle traverse des terrains de plus en plus récents pour aboutir à travers l'étroite gorge du Saut-de-Brot à la plaine du Champ-du-Moulin qui

se trouve environ 80 m. plus bas que celle de Noiraigue. Il a été montré d'autre part (SCHARDT et DUBOIS, «Géologie de la région des Gorges de l'Areuse», avec une carte géologique à l'échelle de 1:15000. *Bull. Soc. neuch. sc. nat.*, t. XXX, p. 195-350, 1903; *Eclogæ géol. helv.*, t. VIII, p. 367-474, et H. SCHARDT, *Compte rendu Congr. géogr. Genève*, 1908, t. II, p. 310) que ce segment à forte pente est une vallée épigénétique postglaciaire, tandis que la vallée primitive de l'Areuse se trouve à une profondeur de près de 100 m. au-dessous de l'altitude de Noiraigue et à l'E. du cours actuel, complètement remblayée par des dépôts glaciaires alpins. Ceux-ci supportent à leur tour un puissant amas de moraine locale déposée par l'ancien glacier du Creux-du-Van. C'est sans doute la présence de cet amas de blocs qui a motivé le déplacement du cours de la rivière après le retrait des glaciers.

Cette supposition de la présence d'une coulière préglaciaire de l'Areuse au-dessous du coteau de la Petite-Joux et des Fourches a été magnifiquement vérifiée par le creusement de la galerie du Plan de l'Eau.

Juste en amont de l'usine hydro-électrique se trouve un coteau formé de graviers fluvio-glaciaires que des ravinements mettent constamment à nu. Ces graviers se trouvent à l'endroit où doivent exister dans la profondeur les marnes du Bathonien (marnes du Furcil) et on les poursuit jusqu'à Brot-Dessous, tandis que du côté N. surgit le terrain calcaire qui lui est inférieur (Bajocien dit Grande-Oolite) et du côté S. les bancs de la Dalle nacrée (Callovien). Lors de la construction de l'usine du Plan de l'Eau, on avait constaté, au-dessous des fondations, du terrain glaciaire avec des sources. J'avais en conséquence supposé que sous le remplissage glaciaire de la Ravière existait un ravin préglaciaire, creusé par un cours d'eau affluent de l'Areuse primitive et *descendant conséquemment plus bas que le lit actuel de cette rivière*[1]. La galerie de recherche d'eau a donné absolument raison à cette supposition.

Elle a été ouverte au niveau du canal d'adduction de l'eau motrice de l'usine des Molliats et dirigée sensiblement à angle droit à la direction des couches.

Après avoir traversé 10 m. de moraine, on a atteint, au seuil de la galerie, le calcaire de la *Dalle nacrée* (Callovien)

[1] Il y a une petite correction à faire à la carte géologique qui accompagne le mémoire sur la géologie des Gorges de l'Areuse. Il n'y a pas de Bathonien entre le glaciaire de la Ravière et l'Areuse; ce dernier se soude directement à la moraine de la rive opposée. Le glaciaire de la Ravière est aussi bien plus étendu du côté du S. et vient recouvrir toute la surface indiquée en Bathonien, jusqu'à la Dalle nacrée.

plongeant de 65° vers le S. Ce sont des bancs de couleur grise à l'intérieur et jaune par oxydation à la surface, le long des délits et des fissures. Il se poursuit ainsi sur près de 50 m., toujours en bancs minces à texture spathique; puis suit sur 23 m. une série d'alternances de calcaires spathiques du type de la Dalle nacrée et de marnes grises ou jaunes, avec quelques infiltrations d'eau. A 83 m. du portail on arrive à la marne grise du Furcil, dont le contact accuse un plongement de 75° au S. Mais il n'y en a que 8 m., car on a passé subitement, par une surface de contact de 60° de plongement N., à de la *moraine de fond* typique, contenant des galets polis et striés, lités dans une masse argileuse. Cette moraine est entrecoupée localement de zones de gravier. Ces dernières donnent naissance à quelques sources assez abondantes. Après 51 m. de cheminement dans ce terrain, mesuré au seuil de la galerie (54 mesuré au plafond), on est rentré dans les marnes du Furcil. A celles-ci ont succédé, au bout de 6 m. seulement, les couches marno-calcaires si riches en Brachiopodes, connues sous le nom de Calcaire roux marneux du Furcil. Ce terrain repose, avec un plongement de 65° S., sur les calcaires compacts gris clair appelés à tort Grande-Oolite. C'est dans ce calcaire et d'autres couches sous-jacentes que la galerie s'est prolongée sur près de 200 m. encore, avec une direction moyenne de 14° N.W., qui est presque celle du méridien magnétique. Il sera question de ces terrains dans le paragraphe suivant.

Le contact de la moraine avec la marne du Furcil de part et d'autre accuse très nettement qu'elle remplit un ravin en forme de V creusé dans ce dernier terrain. Cette circonstance et l'imperméabilité des marnes du Furcil, autant que de la moraine argileuse elle-même, explique les nombreuses infiltrations d'eau sortant des graviers intercalés. La marne du Furcil doit forcément se fermer au-dessous de la moraine. En prolongeant les pentes de part et d'autre, on trouve que leur rencontre doit se faire à environ 25 m. au-dessous du niveau de la galerie. Il est hors de doute que ce sillon doit présenter une inclinaison dans la direction de l'Areuse, soit vers le S.W. Ce fait a été établi positivement par la construction de deux galeries latérales, partant de la galerie principale vers le N.E., en suivant de part et d'autre le contact de la marne du Furcil et de la moraine. (Voir le cliché fig. 1.)

Par suite d'une erreur d'alignement, due à la négligence de l'entrepreneur, l'embranchement S a quitté le contact sur une certaine longueur (environ 35 m.), mais on l'a retrouvé

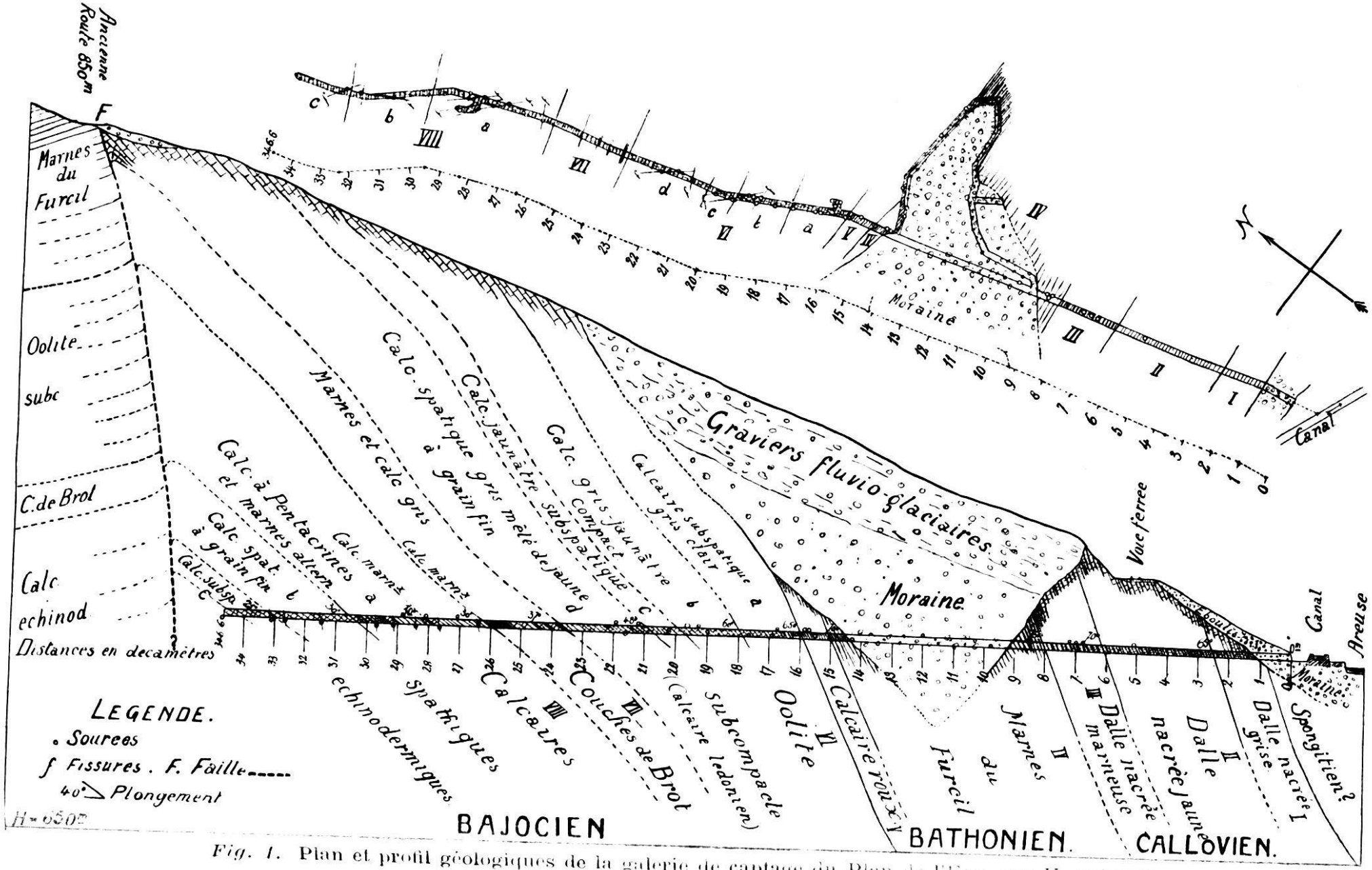


Fig. 1. Plan et profil géologiques de la galerie de captage du Plan de l'Eau, par H. Schardt.

Echelle 1:2500.

plus loin. L'autre embranchement a suivi exactement le contact entre le rocher et la moraine. C'était d'abord la marne du Furcil sur 10 m., puis le calcaire roux, montrant que la marne du Furcil a été entièrement enlevée de ce côté. Après 50 m. au total, on a retrouvé au contact la marne du Furcil, puis les deux embranchements se sont rencontrés à environ 51 m. de distance, mesurée normalement, de la galerie principale. Fait dans le but de recueillir la totalité de l'eau pouvant cheminer dans le remplissage morainique, but qui a été d'ailleurs pleinement atteint, cet ouvrage souterrain a fourni aussi une démonstration éclatante de la supposition que ce ravin doit avoir une pente dirigée vers l'Areuse. Nous connaissons le point où le fond du sillon se trouve au niveau de la galerie principale ou un peu plus haut; sous celle-ci nous lui avons trouvé par construction une profondeur de 25 m. Il résulte de ces chiffres que le fond du ravin préglaciaire de la Ravière doit avoir une pente de 50 % ou 30°. Il est naturellement peu probable que cette déclivité soit constante jusqu'au lit préglaciaire de l'Areuse qui se trouve (si notre construction est juste) à environ 500 m. dans la direction S.W.; car on arriverait à une profondeur de 250 m. au-dessous du Plan de l'Eau. La partie explorée du ravin est évidemment près de son commencement, où la pente est plus forte. En admettant une décroissance normale de celle-ci vers la jonction avec l'Areuse préglaciaire, on arrive par une courbe tout à fait naturelle à joindre le tracé de celle-ci à une profondeur d'environ 100 m., ce qui est admissible.

II. Stratigraphie du Dogger dans la région des Gorges de l'Areuse.

Dans le mémoire cité ci-dessus, nous avions admis, M. Aug. Dubois et moi, que les marnes du Furcil, y compris le calcaire roux, représentaient le Bathonien supérieur et que le calcaire, dit Grande-Oolite, avec les calcaires et marnes à Brachiopodes (couches de Brot, partie supérieure) en formaient la partie inférieure. Les calcaires à Polypiers (partie inférieure de couches de Brot) formeraient le sommet du Bajocien.

Dans ma notice sur le « Parallélisme des niveaux du Dogger dans le Jura » (*Mél. géol.*, fasc. 4, art. XIX, *Bull. Soc. neuch. sc. nat.*, 1903, t. XXXI, 287), j'ai déjà rectifié cette subdivision qui correspondait sensiblement à celle qu'admettait aussi M. Rollier jusqu'alors. J'ai montré que le massif calcaire dit « Grande-Oolite » n'est pas l'équivalent de Grande-Oolite du

Jura bernois, ou de la région du Mont-d'Amin et de Pouillerel, mais qu'il est l'équivalent exact de l'*Oolite subcompacte* du Jura bernois (Thurmann).

En conséquence, les couches de Brot rentrent certainement dans leur ensemble dans le Bajocien et ne correspondent donc pas à la marne à *Ostrea acuminata,* laquelle a, par contre, comme équivalent le calcaire roux du Furcil. J'ai cependant placé encore à la base du Bathonien la soi-disante Grande-Oolite du Furcil. Aujourd'hui, il me paraît nécessaire d'aller encore plus loin et de ranger dans le *Bajocien* ce massif calcaire, ainsi que le faisait d'ailleurs Thurmann pour l'Oolite subcompacte. La rectification est facile à faire d'après ce qui vient d'être dit et en se basant sur le tableau stratigraphique, pl. II de la notice mentionnée. Il semblerait même, d'après la présence de *Parkinsonia (Cosmoceras) Garanti* dans le calcaire roux du Furcil, que l'on devrait encore placer au sommet du Bajocien cette dernière couche, la dite ammonite étant considérée comme bajocienne. Je suis cependant bien plutôt porté à maintenir ce niveau dans l'étage bathonien, dont il forme la base. J'ai pour cela les motifs suivants : Le calcaire roux est bien le niveau de l'*Ostrea acuminata,* dont il renferme d'innombrables exemplaires au Mont Dar (chaîne de Tête-de-Ran) ; il contient en exemplaires typiques la *Parkinsonia Parkinsoni,* et tout le reste de la faune est franchement bathonienne. Il est vrai qu'on cite la *P. Parkinsoni* aussi du Bajocien à *Steph. Humphriesi* de Bayeux. Si dans la région du Furcil on venait à découvrir dans ce niveau cette dernière ammonite ou bien le *Steph. Blagdeni,* alors seulement l'âge bajocien serait démontré. Ajoutons encore que le *Steph. Humphriesi* se trouve dans la chaîne du Mont-d'Amin bien au-dessous du calcaire roux et même au-dessous de l'Oolite subcompacte. C'est également au-dessous du niveau du calcaire roux que M. Rittener cite le *Steph. Blagdeni* près de Grange neuve au pied du Mont-Suchet.

Les niveaux du Bathonien tels que je les ai établis dans le tableau stratigraphique avec leurs équivalences pour la région du Furcil, me paraissent à tel point correspondre à ceux du Jura bernois que je ne saurais sans scrupules placer dans l'étage bajocien la couche si caractéristique du calcaire roux marneux. C'est l'équivalent avéré de la marne à *Ostrea acuminata,* de la marne à *Discoidées*, du Fullers earth et des marnes à *Homomyes*, niveaux qu'on a de tout temps considérés comme rentrant dans le Bathonien. Puis la *Parkinsonia (Cosmoc.) Garanti*, du calcaire roux, est-elle bien le vrai type

bajocien et n'appartient-elle pas plutôt à une autre forme qui est bathonienne? ou bien cette espèce n'a-t-elle pas, comme la *P. Parkinsoni*, une grande extension verticale? Autant de questions qu'il faudrait trancher, avant d'infirmer notre manière de placer la limite entre le Bathonien et le Bajocien.

Le prolongement de la galerie de recherche d'eau, poussé jusqu'à 345 m. de distance du portail, a traversé sur 186 m. les couches du Bajocien. Comme les matériaux provenant des travaux d'avancement étaient jetés pêle-mêle sur le talus de déblais à l'extérieur du tunnel, j'ai dû me contenter de relever avec le plus de soin possible la succession des couches traversées et chercher à retrouver à l'extérieur quelques fossiles dans les roches correspondantes. Aucune couche, à l'exception du calcaire roux, n'était assez riche pour qu'il ait été possible de découvrir quelque fossile dans l'intérieur même de la galerie. Les débris de calcaire roux ont par contre été placés à part et il a été possible de recueillir de nombreux échantillons.

La limite entre le Bathonien et le Bajocien ainsi établie, je donne ci-dessous quelques détails sur les terrains traversés et les listes des fossiles qui y ont été recueillis.

Dalle nacrée (Callovien).

La galerie l'a traversée sur une longueur de 72 m., ce qui fait une épaisseur, mesurée transversalement aux couches, de 60 m. environ. Cette épaisseur est bien plus considérable que celle de la Dalle nacrée qui forme l'escarpement du Furcil. La succession des couches n'est également pas tout à fait la même. Cela n'est pas pour nous surprendre, attendu que nous sommes ici dans le flanc S. de l'anticlinal, tandis que la paroi du Furcil fait partie du flanc N. On sait que la composition stratigraphique et l'épaisseur d'un terrain peuvent varier considérablement sur une faible distance. Voici la série observée :

1. Calcaire gris foncé à grain spathique, en bancs minces de 1 à 2 dm. ; épaisseur, 13 m.

2. Calcaire en dalles jaune extérieurement et gris-brun sur la cassure, texture grenue à grossièrement spathique (échinodermique), sans intercalations marneuses ; les plaques de 10 à 25 cm. d'épaisseur se superposent directement ; épaisseur, 33^{m},5.

3. Alternances d'épaisseur variable de calcaire gris ou jaune spathique du type de la Dalle nacrée, mais à grain

plutôt fin, avec des marnes grises ou des marnes calcaires de même couleur ou plus ou moins jaunies. Il y a, sur une épaisseur totale de 18 m., plus de 60 alternances. L'épaisseur des couches marneuses varie de 5 à 30 cm.; celle des bancs calcaires de 10 à 25 cm.

En comparant cette série à celle que présente l'escarpement du Furcil, on est frappé de la différence que présente la succession des couches de part et d'autre. Tandis qu'au Furcil nous avons deux massifs de calcaire de 25 et 12 m. séparés par un lit de marne de 6 m. d'épaisseur, la galerie du Plan de l'Eau a traversé 46 m. de Dalle nacrée sans marnes intercalées, sauf quelques délits de moins de 1 cm. Cette épaisseur correspond sans doute à l'ensemble des deux massifs de Dalle nacrée avec la couche marneuse intercalée de 6 m. du Furcil; cette dernière est donc remplacée au Plan de l'Eau par des couches calcaires. Quant aux alternances marno-calcaires de 18 m. d'épaisseur qui se trouvent à la base (couche 3), il est plus que probable qu'il faut y voir l'équivalent des marnes en minces feuillets d'une épaisseur d'environ 15 m. qui séparent, au Furcil, la Dalle nacrée des marnes bathoniennes. J'ai constaté là aussi quelques intercalations de calcaire finement spathique. La présence en plus forte proportion de l'élément calcaire dans ce complexe au Plan de l'Eau, atteste le passage de ces marno-calcaires à un fasciès plus calcaire, ce qui est en accord avec la disparition à ce dernier endroit de la zone marneuse dans le milieu de la Dalle nacrée. Il s'en suit qu'il faut descendre quelque peu la limite du Callovien dans la coupe du Furcil, en y ajoutant le complexe marno-calcaire inférieur à la Dalle nacrée précédemment attribué au Bathonien. J'avais déjà procédé ainsi dans mon étude sur le parallélisme des niveaux du Dogger, citée plus haut. Le Callovien du Plan de l'Eau mesure ainsi au moins 65 m., car le sommet n'est pas visible; toutefois le contact avec le Spongitien ne doit pas être bien éloigné du point où la galerie a rencontré les premières couches de Dalle nacrée. Au Furcil cette épaisseur, avec le complexe marneux inférieur, serait de 58 m., ce qui est bien rapprochant.

Voici comment s'établirait l'équivalence pour ces deux profils distants de seulement un kilomètre :

Plan de l'Eau		Furcil	
Dalle nacrée grise . .	13m	Dalle nacrée supérieure	25m
Dalle nacrée jaune, partie supérieure .	12m		

Plan de l'Eau		Furcil	
Dalle nacrée jaune, partie inférieure .	21m,5	Marno-calcaire . . .	6m
		Dalle nacrée inférieure	12m
Marnes et calcaires en alternances . . .	18m	Marno-calcaire en feuillets	15m

Ces dernières peuvent être considérées comme l'équivalent du Cornbrash.

Sauf quelques débris de Crinoides, il n'a pas été possible de découvrir des fossiles dans les matériaux extraits de la galerie, ni dans l'intérieur de celle-ci. La carrière qui se trouve presque immédiatement au-dessus de la galerie, sur le bord de la voie ferrée, m'a fourni par contre un certain nombre de bons fossiles qui permettent de fixer l'âge de cette formation. Quelques-uns ont déjà été mentionnés dans la « Description géologique des Gorges de l'Areuse ». Ainsi que le fait voir le profil géologique, cette carrière est ouverte dans les couches inférieures de la Dalle nacrée jaune, donc à la base des couches calcaires. C'est dans cette partie que la présence des débris de Crinoides donne à la roche une texture nettement spathique. La surface de certaines dalles est littéralement couverte d'articles de *Pentacrines*. Comme certains bancs sont séparés par des minces délits marneux, les articles et tronçons de tige se détachent assez facilement. Il a été possible de recueillir dans cette carrière des centaines de fragments de tiges très bien conservés, grâce au fait qu'on y avait laissé en dépôt pendant de nombreuses années des dalles extraites, dont la surface s'est ainsi délitée aussi complètement que possible.

Voici les fossiles que m'a fournis cette carrière, avec quelques remarques qui s'y rattachent :

Reineckia, non déterminable spécifiquement, deux fragments.

Oppelia, non déterminable spécifiquement, deux fragments.

Belemnites, paraissant appartenir à une forme très voisine du *Hastites hastatus,* Blv., 12 fragments.

Belemnites latesulcatus, d'Orb., un exemplaire entier.

Alectryonia costata, Sow., un exemplaire.

Walheimia Ranvilleana, Sow., un exemplaire.

Cidaris gingensis, Waag., petit radiole qu'il ne m'est pas possible de distinguer de l'espèce citée du Bajocien.

Millericrinus, cf. *impressæ,* Quenst., un exemplaire.

Pentacrinus trabalis, de Lor., sept segments de tige qui ne se distinguent pas de ceux des couches à *Rhynch. varians.*

Pentacrinus Nicoleti, Desor.

Les innombrables articles et fragments de tiges surtout, appartiennent pour le plus grand nombre à cette espèce que de Loriol a très bien définie dans sa « Monographie des Crinoides fossiles de la Suisse ». C'est l'espèce typique de la Dalle nacrée, autant dans le Jura neuchâtelois que dans le Jura bernois.

Pentacrinus Brotensis, de Lor., dix segments de tige.

Il a déjà été fait mention que le *Pentacrinus Brotensis*, de Loriol, cité comme provenant de Brot-Dessous (non Bras-Dessus, comme le dit l'indication de provenance dans la « Monographie des Crinoides fossiles »), se trouve en assez grande quantité dans la Dalle nacrée le long de la route de Brot-Dessous à Rochefort. Cette espèce est par contre moins abondante au Plan de l'Eau, ce qui n'est pas pour surprendre, puisque ces échinodermes aiment à se cantonner en grand nombre à l'exclusion presque complète d'autres espèces. Ce qui mérite cependant d'être relevé ici, c'est que le *P. Brotensis*, indiqué d'après les échantillons de la collection Jaccard, comme provenant du Bajocien (couches de Brot) n'a jamais été trouvé dans ce dernier terrain. Les échantillons types de la collection Jaccard proviennent certainement de la Dalle nacrée. L'erreur est attribuable au fait que Jaccard avait, en dernier lieu, réuni comme équivalents, le long de la route de Brot à Rochefort, les couches de Brot et la Dalle nacrée de cette zone, dont la superposition n'est pas visible, surtout si l'on fait abstraction de la faille de chevauchement qui fait surgir le Bajocien au niveau même de la Dalle nacrée et même plus haut. Cette confusion ressort des deux éditions de la feuille XI de la carte géologique suisse 1:100000. Sur la première édition les couches de Brot sont indiquées comme Bathonien affleurant au-dessous de la Dalle nacrée, qui en formerait la bordure de part et d'autre, situation qui peut être admise comme normale, puisqu'elle correspond bien à la réalité, troublée seulement par le chevauchement de Brot. Mais sur la seconde édition de cette carte toute la Dalle nacrée dès le Furcil jusqu'à la route de Brot (à l'exception de celle de la colline du Mont à l'E. de Noiraigue et de celle qui domine Prépunel et Fretreule), y compris les couches du Furcil, la soi-disante Grande-Oolite, et les couches de Brot, sont réunies sous une même teinte, celle du *Bajocien* (JJ). Ce dernier terrain toucherait anormalement au Jurassique supérieur sur sa bordure S. comme si un chevauchement anticlinal ayant agi exactement en sens contraire à celui que nous connaissons, avait poussé ces terrains profonds sur le flanc S. du pli. Il n'y a pas faute d'impression, car la teinte est celle du Bajocien et le monogramme JJ figure bien à cet endroit. D'autre part, dans la « Monographie des Crinoides », de P. de Loriol, il est dit que le *P. Brotensis* se trouve associé avec le *Cidaris Zschokkei* qui se rencontre effectivement dans les couches de Brot, mais non dans la Dalle nacrée. La faune des couches de Brot est d'ailleurs facile à reconnaître comme équivalente avec celle des calcaires à polypiers qui se trouvent dans le Bajocien supérieur (Lédonien) d'autres parties du Jura. Je suppose donc que ne pouvant séparer stratigraphiquement les couches de Brot de celles qui appartiennent à la Dalle nacrée le long de la route de Brot-Rochefort, Jaccard a mélangé les fossiles de toute cette zone, d'où l'indication du *P. Brotensis* dans le Bajocien. Il ressort donc de ce qui précède que cette espèce provient bien de la Dalle nacrée et appartient au Callovien. Elle doit donc être rayée du Bajocien.

Asterias spec., trois plaques.
Galeolaria socialis, Sow.
Innombrables *Bryozoaires* qui attendent d'être étudiés.

Je puis ajouter encore que j'ai trouvé récemment dans la Dalle nacrée de Pouillerel et près de La Chaux-de-Fonds, un *Macrocephalites* qui ne me paraît pas se distinguer du *M. macrocephalus*.

Ces très modestes trouvailles paléontologiques permettent cependant d'affirmer aujourd'hui que la Dalle nacrée avec les alternances marno-calcaires subordonnées de la région des Gorges de l'Areuse et du Plan de l'Eau en particulier, représentent le Callovien. Elle y est immédiatement recouverte par l'Argovien inférieur (Spongitien), parce que le Divésien (Oxfordien) y fait défaut, et au-dessous des marnes calcaires, d'ailleurs stériles que je suis porté d'ajouter encore au Callovien, vient le Bathonien représenté par les marnes du Furcil.

Il n'est, par contre, pas possible de distinguer dans ce complexe de couches les divers niveaux paléontologiques qui existent dans d'autres régions dans le Callovien.

Couches du Furcil.

Elles ont, entre le calcaire roux et la Dalle nacrée, une épaisseur de 62 m.

Le percement de la galerie du Plan de l'Eau n'a pas amené une bien riche moisson de fossiles, puisque la plus grande partie de ces couches a été enlevée par l'érosion et remplacée par un remplissage morainique. Quelques Brachiopodes ont été trouvés dans les déblais provenant de la partie inférieure.

Puisque la question se pose de savoir si le calcaire roux est bathonien ou bajocien, il me paraît utile, pour être complet, de donner ici la liste des fossiles trouvés dans les couches du Furcil entre Noiraigue et le Plan de l'Eau, en les séparant de ceux du calcaire roux marneux. Dans la liste de la « Description géologique de la région des Gorges de l'Areuse » on a mélangé les fossiles de ces deux terrains.

D'après ce qui est dit dans cette publication, les marnes du Furcil se composent de trois niveaux :

1. Les marnes hydrauliques supérieures, 20 m.
2. Le massif marno-calcaire intermédiaire, 18 m.
3. Les marnes hydrauliques inférieures, 24 m.

L'épaisseur de ces dernières était inconnue jusqu'ici, parce que le contact avec le calcaire roux n'a encore jamais pu être

observé à la surface, tous les affleurements de ce dernier appartenant à la lame chevauchée. D'après l'épaisseur constatable par la percée de la galerie, cette partie inférieure doit mesurer 24 m.

Ces trois niveaux représentent dans leur ensemble, y compris le calcaire roux sous-jacent, l'étage du Bathonien.

Voici leurs équivalences spéciales :

	Niveaux typiques d'Angleterre
Marnes hydrauliques supér.	Forest-marble et Bradford-Clay.
Massif marno-calcaire.	Great Oolite.
Marnes hydrauliques infér.	Stonesfield slate.
Calcaire roux.	Fullers-Earth.

Il ne faut naturellement pas attribuer à ces équivalences une rigidité trop absolue. Les variations que nous avons eu l'occasion de mettre en lumière à propos de l'épaisseur de la Dalle nacrée doivent nous rappeler qu'il n'y a pas de limites stratigraphiques absolues et que même les limites des étages ne coïncident pas toujours ou même plutôt rarement avec des limites de fasciès, ceux-ci pouvant se déplacer assez rapidement. Je n'ai qu'à rappeler que dans la chaîne du Chasseron le massif marno-calcaire intermédiaire n'existe plus et que tout le Bathonien est ainsi marneux du haut en bas et qu'il n'y a là plus de Grande-Oolite à l'état de calcaire dur; dans la région de Tête-de-Ran, cette couche est remplacée par un banc de calcaire blanc subcompact oolitique ou spathique qui est donc un équivalent évident de la Grande-Oolite. Dans la chaîne de Pouillerel un nouveau massif calcaire semblable se place au milieu des marnes inférieures. Il y a donc là deux niveaux de Grande-Oolite, dont cependant le supérieur seul correspond à la Great-Oolite d'Angleterre. C'est donc doublement à tort qu'on avait désigné sous ce nom au Furcil le calcaire sous-jacent au calcaire roux, dont il sera question plus loin.

Voici la faune des couches hydrauliques du Furcil, telle qu'elle résulte soit des déterminations de M. le Dr Mod. Clerc, soit de nouvelles trouvailles faites depuis lors, elle rectifie et complète sur plusieurs points la liste donnée par M. Dubois et moi.

Perisphinctes evolutus, Neum.
Moorei, Opp.
quercinus, Terq. et Jourdy.
Parkinsonia Parkinsoni, Sow.
ferruginea, Opp.
Neuffensis, Oppel.

Belemnites fusiformis, Morr. et Lyc.
Pleurotomaria obesa, Desl.
Cotteaui, d'Orb.
Natica Pelea, d'Orb.
Chemnitzia Niortensis, d'Orb.
Pholadomya Murchisooi, Sow.
ovulum, Ag.
angustata, Sow.
Gresslya abducta, Phill.
Goniomya V-scripta, Sow.
litterata, Ag.
Ceromya plicata, Ag.
Homomya gibbosa, Ag.
Anatina undulata, Sow.
Trigonia pullus, Sow.
costata, Sow.
Pleuromya Jurassi, Brong.
Arcomya lateralis, Ag.
Clapensis, Terq. et Jourdy.
cornuta, Terq. et Jourdy.
inflata, Ag.
Thracia oolitica, Terq. et Jourdy.
Cypricardia caudata, Lyc.
Isocardia tenera, Sow.
bullata, Terq. et Jourdy.
Lucina squammosa, Terq. et Jourdy.
Cucullæa concinna, Phill.
Macrodon elongatum, Sow.
Modiola gibbosa, Sow.
Lonsdalei, Sow.
imbricata, Sow.
Pinna ampla, Sow.
Lima Annonii, Mér.
Schimperi, Branco.
Avicula Munsteri, Bronn.
Pecten demissus, Morr. et Lyc.
Lens, Sow.
Ostrea Knorri, Ziet.
costata, Sow.
Rhynchonella varians, Ziet.
concinna, Sow.
tetraëdra, Sow.
Acanthothyris spinosa, Schloth.
senticosa, de Buch.
Terebratula perovalis, Sow.
Stephani, Sow. (*T. submaxillata*, Desl.)
globata, Sow. et div. variétés.
intermedia, Sow.
sphæroidalis, Sow.
Ferryi, Desl.
conglobata, Desl.
Furcilensis, Haas.
maxillata, Sow.
circumdata, Desl.
Waldheimia ornithocephala, Sow.
subbucculenta, Chap. et Dew.
digona, Sow.
lagenalis, de Buch.
Holectypus depressus, Leske.
Clypeus altus, M'Coy.
Collyrites ringens, Ag.
Asterias spec.

Calcaire roux.

Ce niveau n'avait pas pu être reconnu jusqu'ici dans toute son épaisseur. Grâce à la galerie du Plan de l'Eau on sait maintenant qu'il mesure exactement 10 m. C'est un calcaire fortement marneux et délitable qui est primitivement de couleur gris-fer, mais qui prend à l'air une couleur brun-roux, par suite de l'oxydation de ses composants ferrugineux. Il est par place d'une richesse prodigieuse en *Brachiopodes*. Ils forment parfois presque lumachelle.

J'ai trouvé dans les déblais la plupart des fossiles déjà

connus des gisements du Furcil et du Pont de la Baleine, ainsi que de la tranchée du chemin de fer en amont de l'usine du Plan de l'Eau. Comme il y a eu quelques modifications dans la liste que nous avait communiquée M. Clerc qui a fait la détermination de ces fossiles lors de la publication du « Mémoire paléontologique[1] », je comprends dans l'énumération suivante également ceux de ces derniers gisements, afin d'avoir la faune complète. Ceux provenant de la galerie du Plan de l'Eau sont suivis de la lettre G et du nombre des échantillons trouvés.

Belemnites giganteus, Schl., G. [1 frag.
spec., ind.
Parkinsonia Garanti, d'Orb.
Parkinsoni, Sow., G. 4.
Perisphinctes Moorei, Opp., G. 1.
Oppelia subradiata, Sow.
Pleurotomaria armata, Munst.
Thracia oolitica, Terq. et Jourdy.
Gresslya abducta, Phill.
lunulata, Ag., G. 2.
gregaria, Rœm., G. 1.
rostrata, Ag., G. 2.
Pleuromya Jurassi, Brong.
decurtata, Goldf., G. 2.
teuistria, Munst., G. 5.
Homomya gibbosa, Sow., G. 3.
Vezelayi, Laj.
Goniomya scalprum, Ag.
Pholadomya Murchisoni, Sow., [G. 14.
Bucardium, Ag.
Arcomya cornuta, Terq. et [Jourdy.
inflata, Ag., G. 5.
sinistra, Ag., G. 3.
ensis, Ag.
Ceromya plicata, Ag.
Anatina undulata, Sow.
Isocardia tenera, Sow.
bullata, Terq. et Jourdy.
Unicardium depressum, Mor. et [Lyc., G. 1.
Astarte depressa, Goldf., G. 1.
Pinna ampla, Sow.
Modiola Lonsdalei, Mor. et Lyc.
imbricata, Sow.
gibbosa, Sow., G. 4.
gigantea, Quenst.
Gervillia acuta, Sow.
Lima helvetica, Opp.
duplicata, Sow.
semicircularis, Goldf., G. 2.
Ctenostreon pectiniforme, Schl.
Avicula echinata, Smith.
Munsteri, Bronn, G. 1.
Pecten ambigmus, Munst.
demissus, Phill.
vagans, Sow., G. 1.
lens, Sow.
Hinnites abjectus, Phill.
velatus, Goldf.
Plicatula lyra, Laube.
Ostrea Knorri, Ziet.
(Alectr.) costata, Sow., G. 1.
Marshi, Sow.
Gryphæa sublobata, Desl.
Terebratula maxillata, Sow., [G. 19.
sub-maxillata, Morr.
intermedia, Sow.
globata, Sow., G. 60.
var. *Eudesi*, Op., G. 2.
Fleischeri, Op.
Birdlipensis, Wam.
sphæroidalis, Sow., G. 4.
Feyrri, Desl., G. 26.

[1] Mod. Clerc. « Etude monographique des fossiles du Dogger de quelques gisements classiques du Jura neuchâtelois et vaudois », *Mém. Soc. pal. suisse*, t. XXXI, 1904.

Waldheimia carinata, Lam.,
Mandelslohi, Opp. [G. 1.
subbucculenta, Chap. et Dew.
digona, Sow.
Rhynchonella concinna, Sow.,
tetraëdra, Sow. [G. 8.
obsoleta, Sow., G. 10.
Acanthothris spinosa, Schl., G. 2.
Acanthothris senticosa, de Buch.
Clypeus Ploti, Klein.
altus, M'Coy.
Collyrites ringens, Ag., G. 2.
ovalis, Leske.
Acrosalenia spinosa, Ag.
Holectypus hemisphæricus, Ag.
depressus, Leske.

Bajocien.

On ne connaissait jusqu'ici du Bajocien dans la région des Gorges de l'Areuse que le massif calcaire sous-jacent au calcaire roux et les couches à Brachiopodes et à Polypiers de Brot-Dessous. L'épaisseur du massif calcaire, dit Grande-Oolite, ne pouvait être estimé exactement pas plus que celle des couches de Brot qui sont le terrain le plus profond qui apparaît à la surface. La galerie de recherche d'eau a non seulement traversé l'ensemble du massif calcaire qui a été trouvé épais de 60 m., mais elle a pénétré encore sur plus de 100 m. dans les bancs sous-jacents, en traversant de part en part les couches de Brot.

Ainsi qu'il a été dit, ce massif calcaire n'est nullement le correspondant de Great-Oolite d'Angleterre, mais c'est l'équivalent de l'Oolite subcompacte de Thurmann, soit le Lédonien supérieur.

Il se compose à la partie supérieure de calcaire compact clair, très semblable comme aspect au calcaire du Séquanien. Il n'est cependant pas aussi régulièrement stratifié. Vers le milieu, il devient finement grenu et prend un aspect subspathique et une teinte jaunâtre avec taches grises. Vers la base c'est, avec le même grain, un calcaire gris, assez bien lité, très dur.

Dans son ensemble, ce calcaire Lédonien ou Bajocien supérieur est absolument privé de toute intercalation marneuse, il est presque partout fortement craquelé et a donné lieu à de nombreuses infiltrations d'eau, surtout près du contact avec le calcaire roux marneux et près de sa base à proximité des couches de Brot.

Si nous désignons sous le nom de couches de Brot le complexe avec nombreuses intercalations marneuses inférieur à ce massif calcaire, elles accusent une épaisseur d'environ 12 m. Il n'a malheureusement pas été possible de recueillir des fossiles dans les couches en place. J'ai trouvé par contre

dans les déblais les Brachiopodes et les Polypiers caractéristiques pour ce niveau.

Voici la succession des couches :

Marne grise assez tendre, $0^m,10$.
Calcaire gris à grain fin, $1^m,30$.
Marne grenue grise, $0^m,30$.
Calcaire gris à grain fin très dur, $1^m,20$.
Calcaire marneux gris, $0^m,40$.
Calcaire gris à grain fin dur, $4^m,50$.
Calcaire marneux gris alternativement dur et tendre, 4 m.

Au-dessous suivent environ 28 m. de calcaire spathique grossier, contenant des articles de *Pentacrines*. Ce niveau est très caractéristique comme formant la base des couches à *Brachiopodes* et à *Polypiers*. Il y a quelques intercalations marneuses peu épaisses. Puis on est rentré dans des calcaires grenus subspathiques à grain plus fin, de couleur grisâtre et très semblables à ceux du massif supérieur. La galerie les a traversés sur 45 m., ce qui fait une épaisseur d'environ 28 m. Ils sont séparés en deux massifs par un délit marneux. La dernière partie dans laquelle s'est arrêtée la galerie est un calcaire presque homogène. Ce qui distingue cependant ce calcaire de celui du massif supérieur, c'est sa division en couches minces. Cette circonstance rapproche ce terrain de celui qui forme la base des grands bancs de calcaire à *Pentacrines* de la carrière de Montperreux et qui passent vers le bas à des calcaires siliceux en plaquettes, qui forment le Bajocien inférieur. Il y a donc lieu d'admettre que cette galerie a traversé la plus grande partie du Bajocien.

Nous pouvons reconnaître dans le Bajocien quatre niveaux bien distincts :

1. Un massif calcaire supérieur, nommé à tort Grande-Oolite, c'est l'équivalent de l'Oolite subcompacte ou calcaire Lédonien, 60 m.

2. Les calcaires et marnes alternantes des couches de Brot, à Brachiopodes et Polypiers, 12 m.

3. Calcaires grossièrement grenus à Crinoides (brèche échinodermique, avec quelques intercalations marneuses, 25 m.

4. Calcaires à grain plus fin passant à des couches en lits minces, 28 m.

Si les couches de Brot correspondent au niveau à *Stephanoceras Huphriesi,* ainsi qu'il ressort de la découverte de ce fossile dans ce niveau dans la carrière de Crêt-Meuron sur la

route de la Vue-des-Alpes, alors le massif supérieur, la soi-disante Grande-Oolite, est le niveau à *St. Blagdeni*. Le calcaire à Pentacrines se placerait au niveau des couches à *Sonoma Sowerbyi* et *S. Sauzei*, enfin les calcaires à grain fin et en bancs minces formeraient le passage au niveau à *Ludw. Murchisonæ*, soit le sous-étage Aalénien. Cette dernière relation est du moins rendue probable par la ressemblance avec la succession des couches dans la région des Convers et de Montperreux.

La relation réciproque entre les couches à *Brachiopodes* et celles qui contiennent les *Polypiers* dans le complexe des couches de Brot, mérite encore d'être prise en considération. Dans la description géologique des Gorges de l'Areuse, nous avions admis que ces fossiles étaient bien cantonnés dans deux niveaux superposés, si bien même que nous eûmes la malheureuse idée de placer dans le milieu même des couches de Brot la limite entre le Bathonien et le Bajocien. Cette conclusion ne m'a jamais paru bien logique et on a vu d'après ce qui est dit dans l'introduction à cet article qu'il faut ajouter au Bajocien non seulement les couches de Brot dans leur ensemble, mais encore toute l'Oolite subcompacte, si même il ne faut pas faire subir le même sort au calcaire roux.

Au fait, les couches de Brot ne renferment pas deux niveaux bien distincts. Leur épaisseur n'est que d'un peu plus de 10 m. et je n'ai jamais su y voir le cantonnement exclusif des Brachiopodes et des Polypiers en deux zones. Sur la route de la Vue-des-Alpes, dans la région du Chasseron, ainsi que dans la combe entre les Aiguilles de Baulmes et le Mont-Suchet (gisements des Crébillons, de Combettes et de Grange-Neuve), pas plus que dans le Jura méridional, on ne saurait distinguer d'une manière nette deux niveaux bien tranchés. Il y a partout association des Brachiopodes et des Polypiers, bien que parfois ces derniers soient plus abondants à la base de ces couches et les Brachiopodes plus nombreux au sommet.

Mon ancien assistant, le Dr J. Favre, ayant fait une revision des fossiles des couches de Brot, autant de la collection Jaccard, que de la mienne, je crois utile de donner ci-dessous ces nouvelles déterminations qui rectifient sur plusieurs points celles du mémoire de M. Dubois et moi, en la complétant sur d'autres :

Cerithium abbas, Hual.
Nerinea, sp., petits moules [nombreux.
Cylindrites acutus, Sow.
Pseudomelania simplex, Morr. [et Lyc.
Solarium, sp.
Burguetia striata, Sow.
Astarte minima, Phill.

Arca æmula, Phill.
Gastrochæna fabiformis, Terq. [et Jourdy.
Lithodomus inclusus, Phill.
Opis lunulatus, Sow.
Avicula Munsteri, Goldf.
Pecten Dewalquei, Opp.
ambiguus, Munst.
retiferus, Morr. et Lyc.
lens, Sow.
Lima bellula, Morr. et Lyc.
duplicata, Sow.
Anomii, Mer.
impressa, Morr. et Lyc.
Ctenostreon pectiniforme, Schl.
Hinnites tuberculatus, Goldf.
Ostrea Wiltonensis, Lyc.
Alectryonia Marschi, Sow.
Asellus, Mer.
costata, Sow.
Terebratula Buckmanni, Sow.
Terebratula cadomensis, Desl.
simplex, Buckm.
perovalis, Sow.
Waldheimia subbucculenta, [Chap. et Dew.
Rhynconella obsoleta, Sow.
tetraëdra, Sow.
acuticosta, Schl.
Edwardsi, Chap. et Dew.
Pallas, Chap. et Dew. (*Rh.* [*parvula*, Desl.)
deux espèces ind.
Bryozoaires (*Berenicea*).
Cidaris Zschokkei, Desor.
cucumifera, Ag. (*C. Courtau-* [*dina*, Cott.)
Hemicidaris Langrunensis, Cott.
Pseudodiadema pentagonum, [M'Coy.
Clypeus Ploti, Klein.
Pentacrinus cfr Dargniesi, Terq. [et Jourdy.
Plaque d'Asterias.

La comparaison avec les citations données par divers auteurs de la répartition de ces espèces permet de conclure très positivement à l'âge Bajocien. Onze espèces seulement sur quarante-quatre ont été citées jusqu'ici exclusivement dans le Bathonien; et parmi celles-là le *Clypeus Ploti*. En ce qui concerne cette dernière, la provenance du seul échantillon trouvé par moi-même est absolument certaine. Les nombreux beaux échantillons de cette espèce qui se trouvent dans la collection Jaccard, proviennent par contre du calcaire roux du Furcil.

Les trente-trois autres espèces ont toutes été déjà citées dans le Bajocien; deux se trouvent même déjà dans le Lias; onze sont connues exclusivement du Bajocien, et treize autres sont connues à la fois du Bajocien et du Bathonien; enfin, la *Bourguetia striata* s'élève jusqu'au Séquanien. On voit donc que cette faune présente bien plutôt un caractère intermédiaire entre le Bajocien et le Bathonien, puisque le nombre d'espèces exclusivement bajociennes est compensé par un nombre égal d'espèces connues seulement du Bathonien, et que presque toutes les autres sont communes aux deux étages. Mais il faut bien tenir compte qu'il s'agit d'une faune purement benthonique et que soit les Mollusques de cette caté-

gorie, soit les Brachiopodes peuvent avoir une assez grande extension verticale. Cette affinité de la faune des couches de Brot avec le Bathonien et le Bajocien est une raison de plus pour ne pas placer la limite du Bajocien plus haut que la base du calcaire roux, ainsi qu'il a déjà été motivé plus haut.

L'argument décisif pour nous est la présence du *Stephanoceras Humphriesi* dans la marne calcaire à Polypiers de Crêt-Meuron, niveau équivalent aux couches de Brot. Ces dernières n'ont d'ailleurs jamais fourni de Céphalopodes, dans aucun des gisements où existe ce faciès. Quant aux Polypiers des couches de Brot, je n'ai rien de nouveau à ajouter et renvoie à la liste déjà publiée (Gorges de l'Areuse).

III. Le chevauchement de Furcil-Brot-Dessous.

J'espérais que la galerie du Plan de l'Eau traverserait d'une manière visible et évidente le plan de glissement du chevauchement latéral-anticlinal qui fait se superposer le Bajocien sur la tranche du Bathonien, du Callovien, de l'Argovien et même sur une certaine longueur du Séquanien. Je ne reviendrai pas sur la description locale et la découverte de ce remarquable accident, et renvoie pour cela au mémoire sur la région des Gorges de l'Areuse, partie tectonique. Ce chevauchement naît près du Furcil par la superposition isoclinale, quoique discordante, bien visible du calcaire roux sur les marnes du Furcil. Dès le Pont de la Baleine, c'est le massif calcaire inférieur qui s'y ajoute et dès lors on poursuit cette plaque calcaire sans interruption jusqu'à Brot et sur toute la surface du coteau de Chantemerle, où la superposition anticlinale du massif bajocien sur la série Bathonien-Séquanien peut être touchée du doigt. A cet endroit, l'importance du rejet ne doit pas être inférieure à 300 m. Au Furcil, il est tout au plus de 50 m. Sa valeur va donc en augmentant du S.E. vers le N.W. Dans la direction de l'axe de la galerie on trouve, au-dessus de l'ancienne route du Val-de-Travers, une ancienne exploitation des marnes du Furcil et un peu au-dessous de la route le massif calcaire chevauché disposés anticlinalement. On pouvait donc s'attendre à ce que la galerie traverserait dans la profondeur le contact anormal, puisqu'elle a pénétré dans la montagne jusqu'à une faible distance du contact anormal visible à la surface et que ce dernier forme un plan incliné vers le S.E.

Les relevés géologiques dans l'intérieur de la galerie n'ont pas répondu à cette attente, en ce sens que la série traversée

n'a pas présenté d'anomalie appréciable, au point de vue de la disposition tectonique des couches. Celles-ci, au lieu de se relever vers l'intérieur ou de conserver la forte inclinaison qu'elles ont à l'entrée dans la Dalle nacrée (67 à 75°) et encore au contact du calcaire roux avec le calcaire bajocien (65°), prennent vers l'intérieur des plongements de plus en plus faibles et à l'avancement, où les travaux furent arrêtés, elles n'ont plus qu'une inclinaison de 25°, et on se trouve à environ 40 m. de distance horizontale du contact anormal à la surface et à 148 m. au-dessous de ce point. La série du Bajocien que j'ai décrite dans le paragraphe précédent ne présente, dans la succession des couches, aucune irrégularité que l'on pourrait interpréter comme étant la continuation du plan de glissement du chevauchement de Brot. Le relevé détaillé de la paroi et du plafond de la galerie, à l'échelle de 1 : 100, n'a rien révélé qui pût être interprété comme la trace d'un chevauchement; il n'y a aucune discordance dans les couches et celles-ci ne présentent aucun autre changement dans leur disposition toujours concordante qu'un passage graduel vers un plongement toujours plus faible de l'extérieur vers l'intérieur, ainsi qu'il vient d'être dit.

Je dois donc conclure que, ou bien le plan de chevauchement s'il est incliné vers le S., donc parallèlement aux couches de la plaque chevauchée, n'atteint pas le niveau de la galerie; ou bien qu'il ne produit aucune discordance visible entre les couches chevauchantes et celles qui sont recouvertes par ces dernières; ou bien encore que le plan de glissement descend presque verticalement de la surface dans la profondeur et qu'il passe plus à l'intérieur de la montagne que la terminaison de la galerie.

Je suis porté à admettre comme inévitable cette dernière alternative; on ne doit pas avoir atteint le plan de glissement et il faut en conclure forcément que le chevauchement se dirige obliquement par rapport à l'axe de l'anticlinal, en sorte que l'épaisseur de la lame chevauchée augmente très rapidement à partir du Furcil dans la direction de Brot-Dessous. En accord avec cette modification, on constate que la lame chevauchée, qui est isoclinale au Furcil, devient anticlinale à l'approche de Brot-Dessous. Comme il faut expliquer cet accident par un affaissement de la partie dominante de l'anticlinal, par suite de l'effondrement du plafond d'une cavité formée au-dessous du faîte de l'anticlinal, la masse chevauchée aurait donc été passive. L'alignement oblique du plan de rupture et l'arrêt presque subit de l'accident à l'E. du coteau de Chante-

merle sont des circonstances qui militent en faveur de cette supposition.

C'est dans ce sens que j'ai construit les détails théoriques du profil spécial le long de l'axe de la galerie (voir la fig. 1).

XXXVIII

Note sur deux dents de Polyptychodon du Hauterivien supérieur.

(avec une planche)

Au commencement de l'année 1908, M. Léo Jeanjaquet, ingénieur à Cressier, me remit pour les collections du laboratoire de géologie un magnifique exemplaire de dent de reptile, trouvé jadis dans la pierre jaune de Neuchâtel (Hauterivien supérieur) exploitée au-dessus de Saint-Blaise. La date de la découverte de cet intéressant échantillon n'a pas pu être fixée, car la pièce en question est arrivée par héritage en la possession de M. Jeanjaquet. La provenance est cependant indubitable, autant par la personne même qui l'avait possédée antérieurement, que par la nature lithologique de la roche dans laquelle cette belle dent était encore à demie engagée.

J'ai réussi, avec beaucoup de peine et de précautions, à la dégager entièrement, sauf la partie basale restant adhérente à la roche, car la racine, moins résistante que la couronne couverte d'émail, a été apparemment décomposée ou résorbée au cours de la fossilisation. Il a donc fallu enlever une partie de la roche en la sciant. Cette dernière est bien la pierre jaune typique que l'on exploite au-dessus de Saint-Blaise dans les carrières de Hauterive. C'est cette lumachelle calcaire jaune ocre, composée de débris triturés de mollusques, d'échinodermes (oursins et crinoides) et surtout de bryozoaires, entremêlés de petites oolites et de grains de glauconite.

Peu de temps après, au cours d'une excursion avec mes étudiants, j'ai eu l'occasion d'acquérir, du contremaître L'Epée de la carrière Zumbach, une seconde dent appartenant selon toute apparence au même genre, mais bien plus usée. La racine avait été conservée, en partie du moins, mais comme cette pièce avait été dégagée de la pierre sans prendre les soins voulus, la racine s'était brisée et il n'en restait qu'une faible partie adhérente à la dent et quelques débris détachés insuffisants pour la restaurer.

En comparant ces deux dents avec les figures et descriptions de reptiles fossiles du terrain crétacique, contenus dans la littérature sur la matière, j'ai pu identifier ces dents avec celles du genre *Polyptychodon* de la famille des Plésiosaurides. Des dents et des ossements de ce genre de reptile ont été trouvés dans les couches du Crétacique inférieur, moyen et supérieur. Le genre *Polyptychodon* a été créé par H. v. Meyer (*Palæontographica,* t. VI, p. 3, pl. II); l'espèce qui a servi de type est le *P. interruptus.*

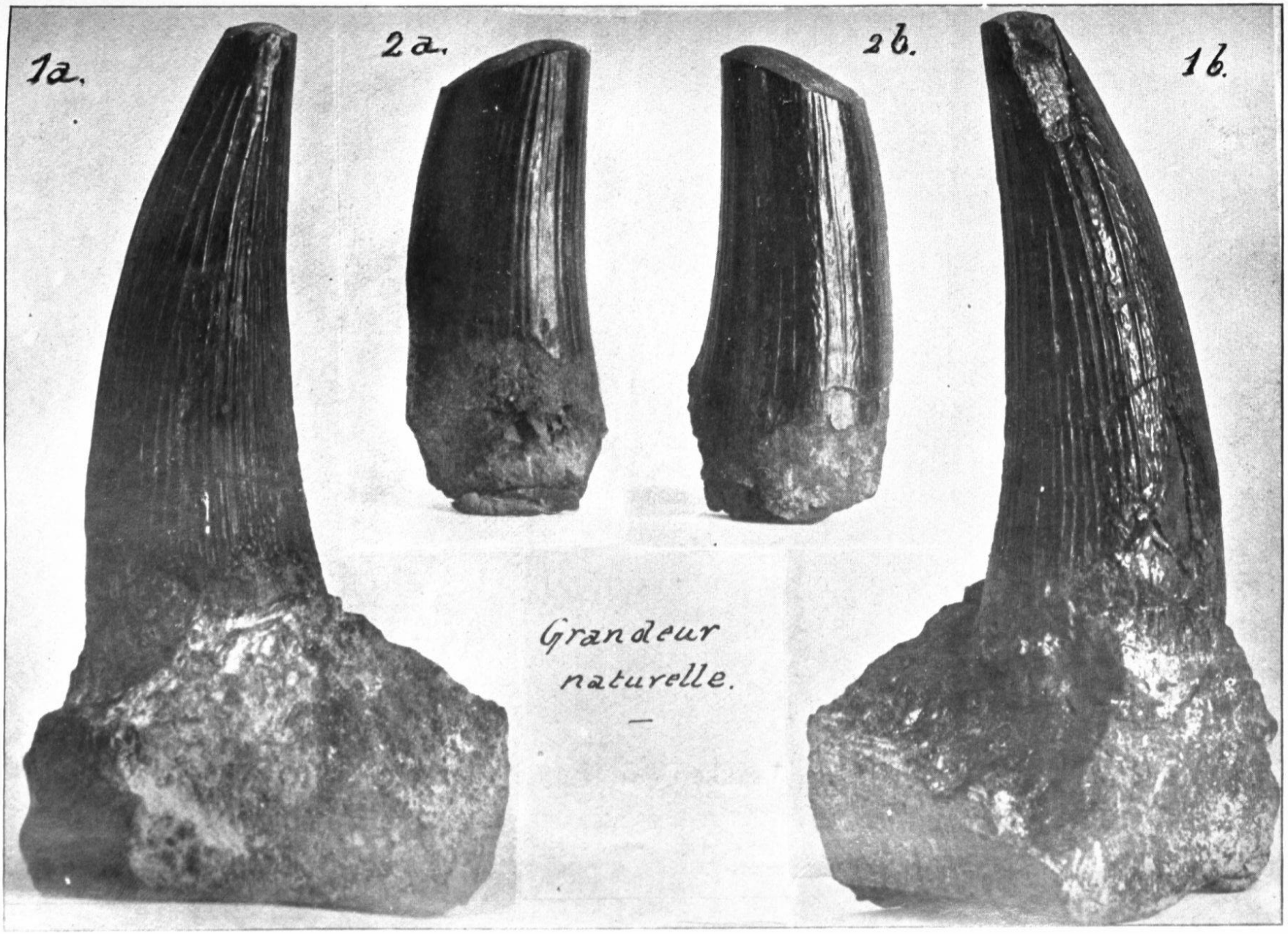
Owen décrit dans les *Mémoires de la Paleontographical Society d'Angleterre* (« Monograph on the fossil Reptilia », 1851-1864) de nombreuses dents de *Polyptychodon* appartenant à deux espèces, *P. interruptus* et *P. continuus,* provenant du « Lower Chalk » (Cénomanien), ou du « Greensand » (Albien), ou du Crétacique moyen; d'autres sont du « Lower Greensand » (Néocomien).

L'ouvrage de Pictet et Campiche, « Description des fossiles du terrain crétacé des environs de Sainte-Croix », 1858-1860, contient la description et des figures d'une petite dent attribuée au genre *Polyptychodon,* à côtes nombreuses et fines assez rapprochées, mais Pictet y pose en même temps la question de son appartenance au genre *Plesiosaurus,* puisque les restes d'ossements trouvés jusqu'ici dans le Néocomien moyen de Sainte-Croix, d'où provient aussi cette dent, appartiennent à ce dernier genre. Nous examinerons également cette question dans ce qui va suivre à propos des deux dents du Hauterivien de Saint-Blaise.

Description.

Grande dent (fig. 1, pl. II). — Longueur totale visible, 80 mm.; longueur de la partie couverte d'émail, 60 mm.: la section est ovalaire; elle mesure 23 et 31 mm. à la base et 5 et 6 mm. au niveau de la partie usée du sommet. Un éclat latéral manque encore près du sommet, mais il y a par dessus des traces d'usure; cette cassure est donc antérieure à la fossilisation et survenue du vivant de l'animal (voir fig. 1[b]). Cette dent présente une inflexion correspondant à un rayon de courbure de 140 mm.

Les côtes qui garnissent la partie couverte d'émail, sont étroites et presque tranchantes, mais peu élevées, séparées par des intervalles plus larges qu'elles. Elles sont d'ailleurs inégalement réparties, car il existe du côté convexe un espace assez large sur lequel les côtes font défaut; mais ici l'émail est



Dents de Polyptychodon du Hauterivien.

H. Schardt, phot.

couvert de replis vermiculés peu saillants, dont sont également ornés quelques-uns des autres intervalles entre les côtes. Celles-ci sont à la base au nombre de 41 ; à la moitié de la hauteur il n'y en a plus que 27, dont 18 seulement atteignent le dernier quart de la hauteur. Près du sommet il n'y en a plus que 4, dont aucune n'atteint le sommet même ; elles s'arrêtent toutes brusquement, donc nullement par suite d'usure. Du côté concave de la dent, les côtes sont placées régulièrement à 1mm,5 à 2 mm. de distance ; mais à l'approche de la zone couverte de granulations et de vermiculations, elles s'espacent un peu, au moins l'une d'entre elles et on voit apparaître sur l'espace intermédiaire les mêmes vermiculations qui caractérisent la grande surface privée de côtes. Cette dernière a une largeur de 12 mm. à la base et de 8 mm. près du sommet tronqué. Celui-ci doit avoir perdu environ 13 mm. de sa longueur primitive, probablement par cassure et usure.

Petite dent (fig. 2, pl. II). — La longueur totale est de 50 mm. et la partie couverte d'émail mesure 40 mm. Ensuite d'une cassure sans doute, elle a perdu la partie terminale pouvant être évaluée à 40 mm. à 45 mm. Elle devait donc avoir eu primitivement une longueur presque égale à la grande dent ; toutefois elle n'appartient pas au même type, car sa forme paraît moins conique, bien que le rayon de courbure soit sensiblement le même. La surface de la cassure est nettement usée, de même que la surface de la partie couverte d'émail. Il s'ensuit que les côtes qui sont dans leur distribution semblables à celles de la grande dent, sont bien moins saillantes ; de même, les vermiculations de la surface de l'émail dans les intervalles plus larges des côtes, ainsi que sur la surface convexe privée de côtes, sont presque totalement aplanies, soit effacées par l'usure. Le grand diamètre est à la base de 22 mm., au sommet de 18 mm., tandis que le petit diamètre mesure à la base 19 mm. et au sommet 15 mm. Les côtes sont moins nombreuses, ainsi que le montre la figure 2 ; cela tient surtout au fait que celles-ci sont plus espacées et plus irrégulièrement distribuées, car les intervalles intercostaux couverts de vermiculations sont plus nombreux. On compte en effet seulement 26 côtes à la base de la surface couverte d'émail, 25 à la moitié de la hauteur et 12 au bord de la surface terminale usée, laquelle doit se trouver à peu près à la moitié de la longueur primitive. Cette réduction des côtes est peut-être en partie attribuable à l'usure complète de quelques-unes, surtout à proximité de la courbure convexe qui est sur une certaine surface parfaitement lisse et polie.

C'est peut-être aussi une particularité à ce type de dent, correspondant à un emplacement différent dans la mâchoire et non à une différence spécifique.

Il ne me paraît en effet pas douteux que ces deux dents doivent appartenir à la même espèce, si elles ne proviennent pas du même individu, puisque c'est dans la même couche et dans la même localité qu'elles ont été trouvées. Les différences sont trop minimes pour admettre qu'elles puissent appartenir à deux espèces différentes; elles ne dépassent pas d'ailleurs celles qu'on peut s'attendre à rencontrer dans la dentition d'un même individu.

Il me paraît indubitable qu'il s'agit bien de dents du genre *Polyptychodon* et non de dents de *Plesiosaurus*. C'est avec les dents figurées sous ce dernier nom que les deux échantillons que je viens de décrire, ont le plus d'analogie. Cependant, si un jour on venait affirmer que les *Polyptychodon* ne représentent en réalité qu'une variété du genre *Plesiosaurus*, l'analogie de la forme et des ornements de nos dents du Néocomien avec celles des *Plesiosaurus* n'en serait que plus justifiée. Pictet remarque d'ailleurs que les ossements de reptiles marins trouvés dans le Néocomien appartiennent exclusivement au genre *Plesiosaurus*. S'il y a là une présomption pour supposer que les dents trouvées dans les mêmes couches doivent appartenir également à ce genre, cette coïncidence est cependant loin d'être une preuve; ainsi raisonne Pictet en classant l'échantillon unique trouvé dans le Néocomien moyen de Sainte-Croix dans le genre *Polyptychodon*. Il relève à ce propos que cet échantillon appartient au type du *P. continuus,* caractérisé par des côtes larges à surface plane, séparées par des sillons étroits, tandis que le type du *P. interruptus* offre au contraire des dents à côtes étroites, tranchantes et espacées, séparées par des intervalles plus larges qu'elles-mêmes. C'est bien à ce dernier type qu'appartiennent les deux dents du calcaire hauterivien de Saint-Blaise. Elles diffèrent en effet très nettement de l'échantillon de Sainte-Croix, d'abord par le caractère que je viens de mentionner, puis encore par le nombre des côtes que Pictet indique comme étant de 50, pour un échantillon bien plus petit que les nôtres; en outre, la dent de Sainte-Croix ne présente pas cette courbure que nous constatons chez les deux dents de Hauterive.

La comparaison avec les dents de Polyptychodon décrites par Owen, ne permet pas une identification absolue. Les dents figurées sous le nom de *P. interruptus* sont bien plus

coniques et plus recourbées et leur section est presque circulaire; les côtes paraissent atteindre en outre la pointe, alors qu'elles s'arrêtent chez la grande dent de Hauterive au moins 15 mm. avant celle-ci. Il s'agit donc probablement d'une espèce nouvelle qu'on pourrait nommer *Polyptychodon neocomiensis.*

XXXIX

Note sur un éboulement survenu à La Neuveville le 11 février 1909.

Cet événement absolument inattendu, dont les journaux ont rendu compte, est cependant fort explicable au point de vue géologique, et il est même surprenant que l'endroit en question n'ait pas été plus souvent antérieurement le siège, sinon de vrais éboulements, du moins de chute de blocs isolés. On cite en effet un éboulement moins important qui a eu lieu, il y a une vingtaine d'années, au même endroit.

Il s'agit de la chute d'un volume important de calcaire portlandien qui se tenait littéralement suspendu sur une surface de stratification inclinée de 40° et passant plus bas à 60°. L'accident s'est produit le 11 février 1909, à 5 heures du soir, sans aucun signe précurseur; à preuve que quelques jeunes gens qui se trouvaient dans un pavillon tout à proximité, ne se doutaient de rien et n'en furent que plus effrayés par la chute de la masse rocheuse, heureusement sans suite pour eux, tandis qu'un autre pavillon fut écrasé par les blocs. Le roulement de ceux-ci fit tant de bruit que les habitants de La Neuveville crurent un moment à un tremblement de terre.

Le profil géologique ci-joint (n° VII de la série p. 359) montre la situation. Dès le bas du coteau, où s'étalent les vignes au-dessus du faubourg de La Neuveville, on trouve un premier petit escarpement formé par le calcaire dolomitique saccharoide du Portlandien supérieur, dont les bancs sont inclinés de 70°. La moraine, qui forme la surface du coteau inférieur, cache donc le Purbeckien et le Néocomien. En effet, un peu à l'ouest de cet endroit, à la cote 473 de la carte 1 : 25 000, se voit, au-dessous de la route, un affleurement de calcaire valangien inférieur, d'où s'échappe une importante source, qui actionne une usine, ainsi qu'une autre source servant à l'alimentation de la ville. Le palier qui se trouve juste au-dessus correspond donc aux marnes inférieures du Valangien et à

celles du Purbeckien. Le calcaire portlandien supérieur, continuation de celui que je viens de mentionner, forme ici également une pente rocheuse, un peu plus haute. Un second palier, sur lequel s'est arrêtée la plus grande partie de l'éboulement, se trouve au-dessus de ce petit escarpement, à la cote moyenne de 500 m. Ce sont les calcaires dolomitiques marneux en plaquettes de la base du Portlandien supérieur qui le déterminent. Il est occupé également par des vignes, des jardins et des vergers. La surface rocheuse presque lisse qui suit, et sur laquelle l'éboulement s'est précipité, est formée par les calcaires en bancs réguliers du Portlandien moyen; il est reconnaissable facilement par sa pâte fine et homogène à teinte gris-clair parsemée de marbrures jaunâtres ou parfois rougeâtres. C'est une pierre de construction très recherchée, connue sous le nom de « roc du Jura ».

C'est une plaque épaisse de 4 m. en moyenne qui s'est détachée au-dessus de la pente lisse, à une hauteur allant de 546 à 540 m. Elle a donc accompli une chute de près de 50 m., avant de rencontrer le premier palier. Le sol n'étant pas gelé et au contraire détrempé, les gros blocs s'y enfoncèrent profondément et un petit nombre seulement purent bondir par-dessus le petit escarpement et s'éparpiller dans les vignes des Baumes. En particulier, il y en a un parmi eux cubant au moins 30 m³.

La surface d'arrachement est fort bien visible de loin et sa limite inférieure est marquée par une bande de terre avec quelques restes de buissons qui avaient pris racine dans le délit même par lequel la masse éboulée adhérait au banc sous-jacent. Celle-ci a la forme d'une plaque triangulaire ayant une base de 20 m. et une hauteur égale. Cela donne avec une épaisseur de 4 m. un cube de 800 m³.

Il est certainement rare de rencontrer dans le Jura des éboulements de cette importance. Cependant les bords du lac de Bienne sont sous ce rapport bien plus favorablement situés que toute autre région. Les couches qui forment le flanc S.E. de la chaîne du lac sont, sur toute la longueur entre La Neuveville et Bienne, très fortement inclinées; l'érosion glaciaire a démantelé leur pied, en enlevant non seulement sur presque toute la hauteur, aujourd'hui émergée, la bordure tertiaire et néocomienne, mais à certains endroits les couches du Jurassique supérieur ou du Valangien plongent avec 40 à 60° sous le niveau du lac. On connaît l'éboulement préhistorique de Wingreis, dont les débris émergent encore actuellement des vignes, tandis qu'on voit fort nettement la région d'arrache-

ment sous forme d'une pente abrupte, où une masse de calcaire portlandien en position verticale doit s'être renversée. Dans la région entre Gléresse et Bienne nombre d'éboulements doivent être tombés directement dans le lac. Un éboulement causé artificiellement par l'exploitation imprudente du calcaire valangien a obstrué, il y a quelques années, la route et la voie ferrée près de Daucher. Il s'est produit le matin du 15 avril 1903 et représentait un volume de 7000 à 8000 m³ [1]. Entre Gléresse et Douanne, la Hohe Fluh près de Bipschal est dans une situation des plus menaçantes en apparence, tout le rocher repose sur une ancienne surface de glissement. Le Känzeli, au S.W. de Daucher, a donné lieu plus d'une fois à des craintes, car ce rocher, Valangien aussi, comme la Hohe Fluh, a un aspect menaçant; son pied a été sapé pour la création de la route cantonale et une surface de glissement se trouve à sa base. Récemment on en a fait sauter une certaine partie de peur qu'il se produise un éboulement pouvant recouvrir le chemin de fer.

C'est cette même région qui a été le siège, peu après le soulèvement du Jura, mais avant l'époque glaciaire, de phénomènes de glissements de rocher ayant conduit à la formation des remarquables intercalations de marne hauterivienne et d'autres roches dans des excavations du Valangien inférieur, glissements qui sont aussi attribuables à la trop forte inclinaison des couches dans toute cette zone.

Dans la formation de l'éboulement de La Neuveville en février 1909, de même que de celui qui doit avoir eu lieu il y a une vingtaine d'années, l'influence des agents naturels n'est pas la cause unique. La situation suspendue de ce rocher au-dessus d'une pente toute faite pour servir facilement à l'exploitation de pierre de construction, m'a fait penser qu'il pourrait y avoir eu là une ancienne carrière. On m'a affirmé, à La Neuveville, qu'il en était bien ainsi et que la pierre ayant servi à l'édification de bon nombre de constructions et de monuments de cette ville, en particulier de la Tour carrée, provenait de cet endroit.

[1] Indication de M. l'ingénieur R. Rychner, inspecteur des C. F. F., à qui je présente ici mes remerciements.

XL

Découverte d'un chevauchement sur le flanc de la chaîne du lac près de La Neuveville.

(avec huit profils et légende)

En explorant le coteau escarpé en amont de la région où a eu lieu l'éboulement qui fait l'objet de la note précédente, je fus frappé par une anomalie qui ne paraît pas avoir attiré l'attention jusqu'ici. Au sommet de ce rocher se trouve, à l'intérieur d'un contour de la route de Lignières, à la cote 613 m., une carrière dans laquelle on exploite du calcaire clair à taches jaunes du Portlandien moyen. Cela n'a rien de surprenant, puisqu'on vient de voir que le rocher dont s'est détaché l'éboulement est constitué en entier de ces bancs. Il est plutôt étrange que dans cette carrière les couches, au lieu d'avoir le fort plongement qu'on remarque plus bas (40°),

Fig. 2-9.

Huit profils géologiques
par la zone du chevauchement de La Neuveville.

LÉGENDE :

Echelle 1 : 10 000.

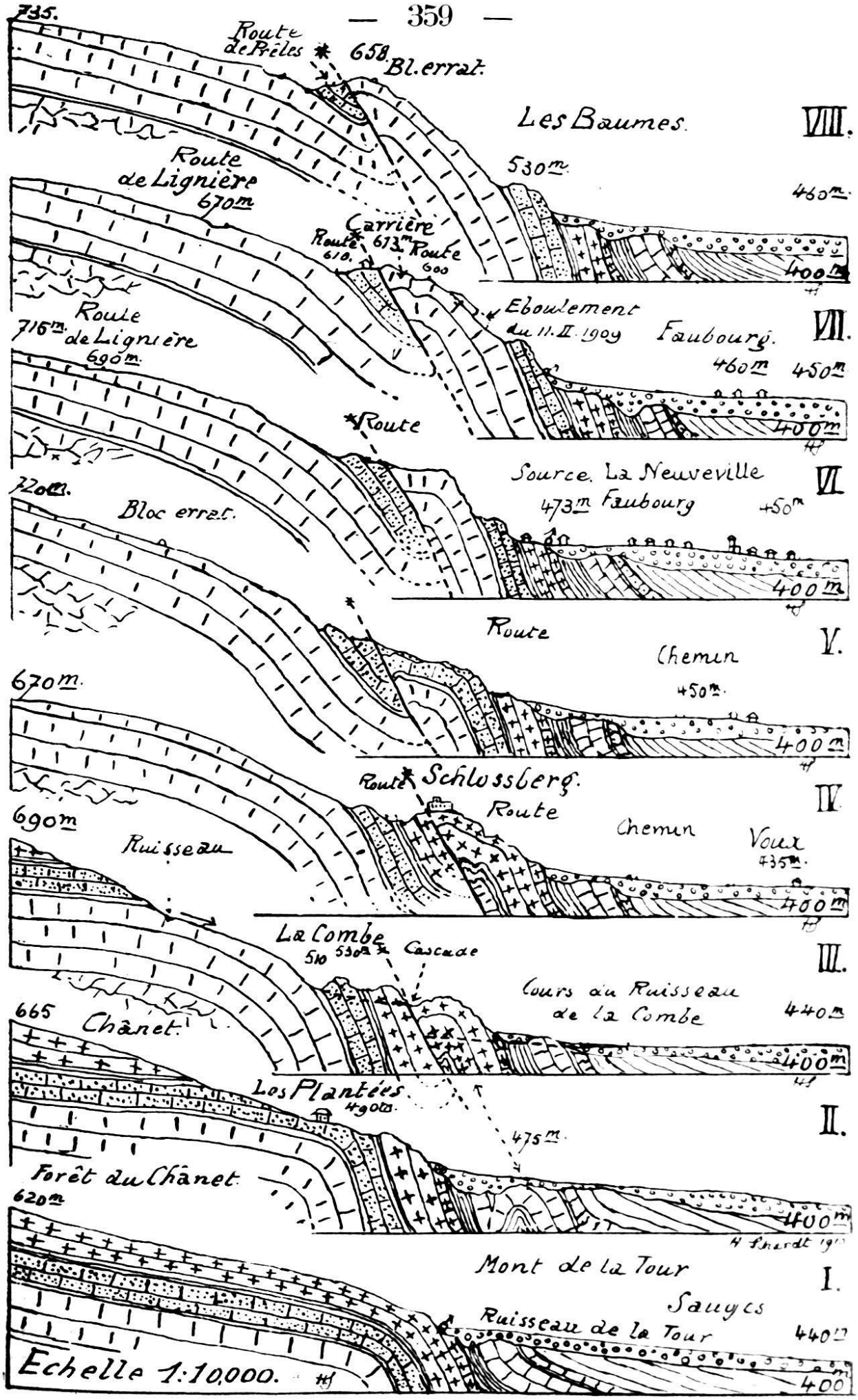

735.
Route de Prêles
658.
Bl. errat.
Les Baumes.
VIII.
530m.
460m.
Route de Lignière 670m
Carrière
Route 610.
673m.
Route 600
400m
Eboulement du 11. II. 1909
Faubourg.
VII.
716m.
Route de Lignière 690m.
460m
450m
Route
400m
Source. La Neuveville
VI
720m.
Bloc errat.
473m
Faubourg
450m
400m
Route
Chemin
V.
670m.
450m.
400m
Route
Schlossberg.
IV.
Route
690m
Ruisseau
Chemin
Voux
435m.
400m
La Combe
510
530m
Cascade
III.
Cours du Ruisseau de la Combe
440m
665
Chânet.
400m
Les Plantées
490m.
II.
475m.
Forêt du Chânet.
620m
400m
H. Fuardt 19
Mont de la Tour
I.
Saugys
Ruisseau de la Tour
440m
Echelle 1:10,000.
400

Fig. 2-9.

ne présentent qu'à peine 10° et sont, au surplus, parcourues de plans de glissement et en particulier d'un contournement en forme de synclinal qui vient butter contre une superbe surface de glissement. Mais la circonstance qui est particulièrement embarrassante, c'est que derrière les maisons bâties à l'intérieur du deuxième lacet de la route au-dessus de la cote 613 m., se trouve, avec le plongement normal de 40°, le calcaire saccharoide que nous avons constaté précédemment sur le calcaire à taches jaunes que nous avons nommé Portlandien moyen. La superposition de ce dernier sur le dit calcaire saccharoide est hors de doute, une petite combe l'en sépare cependant, et comme d'autre part ce calcaire grenu est la continuation directe du Portlandien supérieur sur lequel s'appuie le Valangien inférieur qui forme le rocher du Schlossberg, il ne saurait en aucun cas être considéré comme plus ancien que le calcaire de la carrière en question. La situation est tellement évidente qu'en approchant de la dite carrière, avant d'avoir examiné ce calcaire, je m'attendais à y trouver du Valangien inférieur, formant un lambeau synclinal. Le plongement différent et la trace d'une courbure synclinale me paraissaient presque concluants. Or, il fallut reconnaître que la situation est réellement bien plus compliquée. Ce calcaire de la carrière est bien positivement du Portlandien moyen et forme la continuation directe des couches de la paroi de l'éboulement. Il s'ensuit d'une manière indubitable que nous sommes en présence de *deux séries de couches portlandiennes, superposées par suite d'un chevauchement,* ainsi que le représente le profil VII de la série p. 359.

Cette impression a été absolument confirmée par une exploration détaillée de la région au S.W. et au N.E. de ce profil. En poursuivant les affleurements dans la direction du S.W. on constate que le Portlandien supérieur qui forme le gradin au-dessous de l'éboulement, se rapproche de la zone que nous avons constatée derrière les maisons sur la route de Lignières et la rejoint exactement à l'E. du Schlossberg. La masse de calcaire portlandien taché moyen qui est comprise entre les deux (profil VI) se réduit de plus en plus en largeur et finit naturellement par se terminer en biseau, en s'enfonçant sous le calcaire saccharoide, un peu à l'E. du point de jonction des deux bandes de Portlandien supérieur (profil V). A partir du Schlossberg vers l'ouest, c'est la bande interne qui se continue seule et c'est contre elle que s'appuie le Valangien du Schlossberg et de la zone interrompue de ce terrain qui se continue jusqu'au Landeron. Il semblerait donc

qu'avec l'apparition du Valangien au Schlossberg le chevauchement s'arrête définitivement. Mais il n'en est pas ainsi.

L'examen du rocher du *Schlossberg* (profil IV) m'a montré qu'il y existait deux complexes de calcaire valangien inférieur. Le complexe extérieur est la continuation de la bordure de ce terrain que nous avons reconnu dans le précédent article et d'où s'échappe la grande source de La Neuveville. Ses couches sont très inclinées (70°) au pied du coteau jusqu'au-dessous du château; puis on les voit distinctement se replier presque à angle droit et prendre une position bien moins inclinée (22 à 20°); elles rappellent en cela la disposition du Portlandien de la masse chevauchée (profils V-VII). Enfin, au bord de la route, à l'W. du château, on voit apparaître subitement des couches de calcaire valangien inférieur avec plongement de 48°. Le contact entre les deux est franc et discordant, bien qu'une bande de gazon les sépare. C'est ce dernier Valangien qui vient de se placer, avec la combe purbeckienne intermédiaire, contre le calcaire grenu du Portlandien supérieur de la zone interne, car celui de la zone externe s'est enfoncé, au N.E. du château, sous le Valangien du premier complexe, dont il est également séparé par du Purbeckien, celui qui se trouve en amont de la source de La Neuveville. Du côté W. aucun de ces deux terrains ne vient plus au jour, le contact par chevauchement se fait Valangien contre Valangien (profils III et IV). Il est cependant fort probable, sinon évident, que le rejet de ce chevauchement paraît se réduire considérablement et que cet accident tend à s'éteindre totalement dans la direction du Landeron, c'est ce qu'une exploration du coteau au-dessous des Plantées et des Combettes permet de constater très positivement; on n'y voit plus trace de cette dislocation. D'ailleurs le rocher valangien du Schlossberg se place manifestement comme une verrue sur la bordure néocomienne qui se prolonge du côté du Landeron. En descendant le long de la cascade du ruisseau de la Combe, on voit encore le contact du Valangien fortement incliné à droite et faiblement à gauche. Dès l'endroit où ce petit cours d'eau coule au milieu d'un petit vallon transversal, on constate que les deux flancs de ce vallon ne sont pas semblables. A gauche c'est la « verrue » du Valangien chevauché, avec son flanquement hauterivien dont on voit un affleurement de pierre jaune dans les vignes, tandis qu'à droite se voit un coteau peu accidenté, contrastant avec la masse escarpée sur l'autre rive. La bordure de pierre jaune qui vient d'être mentionnée se poursuit sur la rive droite, mais à une distance considérable du

Valangien de la paroi sous les Plantées qui appartient à la zone interne. En le suivant pas à pas, le long des affleurements qu'il est possible de trouver, on constate qu'il passe peu à peu d'un plongement S.E. à un plongement N.W., dessinant ainsi un anticlinal, exactement en face de la masse valangienne chevauchée. Mais il y a mieux : sans retrouver de la pierre jaune redressée en sens inverse, on rencontre à peu de distance de ce point de la marne hauterivienne redressée et fortement laminée; elle est appliquée contre du Valangien supérieur qui lui-même est appliqué avec un plongement de 70° contre le Valangien inférieur, prolongement du complexe interne du Schlossberg. L'anticlinal de Hauterivien est donc l'équivalent du Valangien du complexe externe du Schlossberg et si entre cet anticlinal et la marne hauterivienne, il n'y a pas de synclinal régulier, ce qui n'est pas démontré, il est possible qu'il y ait ici chevauchement de Hauterivien sur Hauterivien. Si, au contraire, il y a un synclinal régulier, on en doit conclure que le chevauchement, ensuite de la réduction de son rejet de ce côté, tend en outre à se transformer en un simple pli anticlinal accessoire. Celui-ci s'aplanit à son tour et passe probablement au pli monoclinal si remarquable que dessine le Néocomien au-dessus du Landeron (comparez les profils I, II et III).

Je constate qu'en ce qui concerne la disposition du Valangien au Schlossberg, Gilliéron avait déjà dessiné très fidèlement sur la planche annexe à la description des fossiles du Landeron[1], le contact discordant des deux complexes de Valangien inférieur sous le Schlossberg; dans un profil plus étendu, il figure le Schlossberg comme un anticlinal avec de la limonite comme calotte et dans une convergence synclinale des couches. C'est cette dernière disposition que je n'ai su voir nulle part. Derrière le Schlossberg il y a bien une dépression, mais elle est due à la présence des marnes du Purbeckien sous le complexe interne. Dans la gorge de la cascade, il n'y a nulle part de la limonite serrée entre les deux complexes, bien que ce ne serait pas impossible. On y voit par contre de la brèche de dislocation sur le plan de glissement. Le large ravin transversal du ruisseau de la Combe est précisément creusé à l'endroit où le chevauchement passe à un anticlinal avec synclinal intermédiaire (profils II et III).

Que devient cette dislocation à partir de l'endroit sur la

[1] P. de Loriol et V. Gilliéron. « Monographie paléontologique et stratigraphique de l'étage Urgonien du Landeron », *Mém. Soc. helv. sc. nat.*, t. XXIII, 1869, pl. VIII, fig. VII.

route de Lignières où nous en avons fait la première constatation? Evidemment il doit se continuer et j'ai consacré deux excursions dans le but d'en reconnaître les allures. La reconnaissance est ici assez laborieuse, parce que la carte topographique peu exacte rend l'orientation difficile, en dehors de la route bien repérée; puis le contact de la masse chevauchée externe avec la partie interne se fait bientôt Portlandien moyen contre ce même terrain, en sorte que la trace du contact anormal exigerait un relevé extrêmement détaillé. La présence d'une épaisse forêt et l'absence du tracé des sentiers sur la carte topographique ne permet pas de faire un tel relevé avec assez de précision.

Il est cependant facile de constater que le long de la route de Lignières jusqu'à la bifurcation de celle de Prêles, où gît, près de la cote 658 m., un grand bloc erratique de Protogine portant une inscription, la trace du contact anormal suit à peu près parallèlement à la route et en dehors de celle-ci. A la bifurcation même il y a d'un côté du Portlandien moyen, sur lequel est le bloc, et de l'autre du calcaire saccharoide; la lame chevauchée a ici au moins 200 m. de largeur (voir profil VIII). Le contact passe ensuite du côté externe de la route et traverse sur les Finages de Louvain, où l'on a d'un côté du Portlandien supérieur et de l'autre, aux Longues Rayes, du Portlandien moyen. Mais il faudrait une exploration systématique de cette région assez vaste et fortement boisée pour arriver à établir un tracé exact du parcours de cette singulière dislocation, laquelle ne fait qu'augmenter dans cette direction. Il ne semble pas même qu'elle s'arrête à la gorge de la Douanne, mais elle pourrait bien se modifier, attendu qu'au-delà de cette coupure le flanc S.E. de la chaîne du lac présente dans le Portlandien au moins deux zones de contournements énergiques qui me paraissent correspondre à une poussée ayant tendance à faire chevaucher ces couches les unes sur les autres; il est donc probable que le chevauchement se transforme en plissements multiples.

Il y a encore bien des découvertes à faire dans le Jura. Le chevauchement de La Neuveville est une des dislocations les plus remarquables que je connaisse, bien qu'elle soit restée presque insoupçonnée jusqu'ici.

XLI

Le cours souterrain de la Ronde (La Chaux-de-Fonds)

(avec quatre clichés)

Tandis que le vallon du Locle, qui déversait autrefois ses eaux par un emposieu à débit souvent insuffisant, a été mis à l'abri des inondations par le creusement, il y a plus d'un siècle, d'une galerie à travers la barrière du Col-des-Roches, le vallon contigu de La Chaux-de-Fonds, bien moins riche en eau, a eu à faire face à des inconvénients d'un autre genre, inconvénients qui résultent surtout du développement de sa population et de l'insuffisance de la dilution de ses égoûts.

Au milieu de la ville de La Chaux-de-Fonds jaillit une source, connue sous le nom de la « Ronde ». Ce nom est assez répandu dans le Jura et désigne une eau jaillissant au milieu d'un petit étang circulaire. Elle est aujourd'hui cachée dans les souterrains d'un bâtiment.

Pendant longtemps c'était la seule ressource en eau potable courante, en dehors des innombrables puits et citernes au moyen desquels la population, demeurant à trop grande distance de la source bienfaisante, cherchait à s'alimenter en eau potable, jusqu'au moment de l'adduction de l'eau des sources des Gorges de l'Areuse (27 novembre 1887).

Les abords du vallon de La Chaux-de-Fonds étant composés de calcaire jurassique supérieur fissuré et absorbant sont absolument privés d'eau. Pour eux il n'y a pas même la ressource des puits, les citernes collectant l'eau des toits constituent là le seul moyen de se procurer de l'eau. Il s'en suit que la fontaine ronde de La Chaux-de-Fonds doit prendre naissance dans la zone médiane de ce haut vallon et se collecter dans le remplissage de calcaire d'eau douce œningien, lequel repose sur une couche de marne rouge et bariolée, ayant elle-même pour base la Molasse marine. C'est sur cette assiette imperméable que le calcaire d'eau douce concentre les eaux qu'il absorbe à la surface, soit directement, soit au-dessous d'une couche de tourbe. L'emplacement de la source de la Ronde marque probablement la terminaison N. de ce terrain et la sortie de terre du cours d'eau souterrain dirigé vers le côté N. du vallon, tandis que du côté des Eplatures une autre partie des eaux pouvait s'écouler souterrainement

dans la dépression du Locle, inférieure de 50 m. environ au plateau de La Chaux-de-Fonds.

La Ronde a un débit relativement considérable; on l'estime en temps assez sec à 150 à 200 litres par minute. Elle alimenta pendant longtemps un ruisseau superficiel qui se perdait sous terre en amont de la combe du Valanvron, après avoir serpenté à travers le fond marécageux du vallon. Augmenté des eaux pluviales temporaires, il était assez volumineux pour mettre en activité deux usines, une scierie et le moulin de la Ronde, dont les roues motrices étaient placées dans des excavations souterraines, afin de créer ainsi la chute nécessaire à la production de la force motrice. La scierie a aujourd'hui totalement disparu et il n'existe plus que le bâtiment du moulin, dont les meulières ont depuis longtemps cessé de tourner. Cette installation est déjà citée en 1665.

Le ruisseau, ou Bied de la Ronde, n'existe plus aujourd'hui. Déjà au commencement du XIXme siècle la construction d'un égoût détruisit complètement les nombreux poissons qui peuplaient ses méandres et surtout les étangs d'accumulation qui existaient près des Moulins. Depuis lors il a été canalisé et remplacé par un canal souterrain, de 2 m. de diamètre, l'égoût collecteur de la ville; les étangs et les canaux d'adduction furent comblés et à côté des moulins furent construits les anciens abattoirs. Ces divers travaux de canalisation ont été faits de 1866 à 1885.

Au début, l'eau de cet égoût continuait à s'écouler par les emposieux en passant par les étangs servant de dépotoirs, après qu'en 1869 la commune avait acheté les moulins, afin de les désaffecter. Mais les emposieux s'obstruèrent peu à peu, surtout par l'accumulation de corps flottants, celui de la scierie d'abord à cause de la sciure et les débris de bois, celui du moulin ensuite, et on s'aperçut déjà en 1874 que les caves de ce bâtiment s'inondèrent en certains moments.

Dès lors les égoûts s'écoulèrent bientôt en permanence par la combe du Valanvron et le canal souterrain fut prolongé jusqu'à l'entrée de celle-ci, bien que momentanément une nouvelle ouverture absorbante, découverte au cours des travaux, put être utilisée. Son obstruction fit définitivement prendre à l'eau le chemin de la combe. Depuis que La Chaux-de-Fonds dispose d'une ressource d'eau potable et ménagère d'environ 4000 l. m., dont naturellement presque la totalité s'écoule par les égoûts avec l'appoint de l'ancienne source, la Ronde est devenue un véritable ruisseau, même aux plus basses eaux, lorsqu'il n'y arrive point d'eaux pluviales. Mais

en même temps la transformation complète du système des égoûts particuliers, les nombreuses buanderies et les industries diverses, à citer entre autres l'usine à gaz qui déversait au début le goudron de la houille dans l'égoût, ont complètement modifié la composition de ce qui était jadis le limpide ruisseau de la Ronde. Il s'y mélange une proportion bien plus forte de matières solides, en bonne partie non décantables, mais surtout agglomérables. Le canal fermé a été prolongé ensuite sur une certaine longueur dans l'intérieur de la combe et muni d'un radier sur une distance encore plus grande. Puis les propriétaires riverains, dont les terrains n'étaient autrefois parcourus que temporairement par de l'eau pluviale, ont présenté des réclamations contre ce ruisseau permanent d'eau fangeuse et désagréable qui s'est développé peu à peu sur près de 7 km. de longueur à ciel ouvert, en formant en plusieurs endroits des étangs d'une assez grande étendue et se terminant dans un lac temporaire au Cul des Prés au-dessus de la combe de Biaufond.

Divers projets de dérivation ont été présentés ensuite de ces circonstances, provoquées par les réclamations des propriétaires riverains, appuyés par une intervention de l'Etat de Berne, la combe de Valanvron et de la Ferrière étant en partie sur territoire bernois. (Voir le croquis, fig. 10.)

L'un des projets prévoyait la canalisation couverte du ruisseau sur toute la longueur de la combe du Valanvron et de la Ferrière et de celle de Biaufond, soit sur près de 10 km.

Mais on pouvait aussi songer à faire une dérivation plus directe, au moyen d'une galerie suivant deux tracés :

1° Par un tunnel partant du haut de la combe du Valanvron et aboutissant à la combe de la Greffière au-dessus de la vallée du Doubs. Longueur $2^{km},350$.

2° Par une canalisation fermée suivant le fond de la combe du Valanvron jusqu'au coude de celle-ci au-dessous de la Monsenière et un tunnel à partir de ce point jusqu'à la combe du Corps de Garde au-dessus de la Maison-Monsieur. Longueur de la canalisation dans la combe $2^{km},500$, du tunnel $1^{km},500$.

Dans l'un et l'autre cas, on pouvait prévoir une utilisation de l'eau comme force motrice avec une chute disponible de 300 m. environ.

Ayant été consulté par les autorités de La Chaux-de-Fonds sur les moyens à mettre en pratique pour obvier à ces divers inconvénients, j'ai procédé à plusieurs explorations et essais

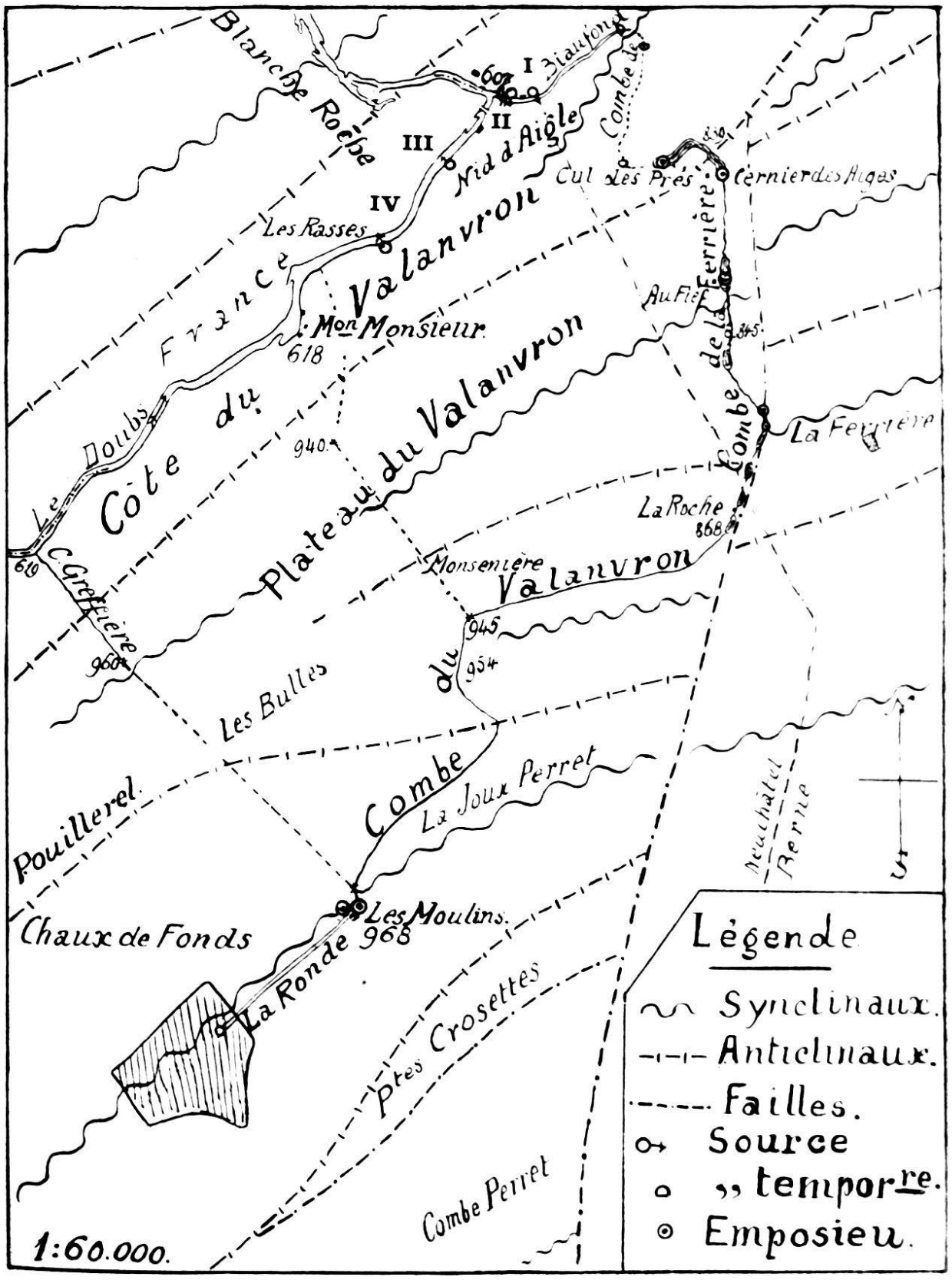


Fig. 10. Croquis montrant la situation réciproque entre les emposieux de la Ronde de La Chaux-de-Fonds et les sources de Biaufond et la structure géologique de la région intermédiaire.
I. Petite Ronde; II. Grande Ronde; III. Source aux Dames; IV. Source des Rasses.

de coloration du ruisseau. Il en résulte que l'eau qui se perd dans le cours à travers le vallon du Valanvron, et surtout dans le lac terminal du Cul des Prés, ressort au jour par plusieurs grandes sources situées au bords du Doubs et à l'ouverture de la combe de Biaufond. Ces sources, connues sous le nom de Petite et Grande Ronde et de Source aux Dames (I, II et III de fig. 10) ont d'ailleurs donné des résultats des plus défavorables à l'analyse chimique, par suite de leur teneur élevée en ammoniaque et matières organiques. On pouvait donc prévoir la relation de ces sources avec le ruisseau-égoût de la combe du Valanvron. Le débit de ces sources est très élevé. Celui de la Grande Ronde surtout, qui jaillit entre le pont du Doubs et le hameau de Biaufond, au milieu d'un grand bassin circulaire, varie entre 200 et 1000 litres par seconde. J'ignore si son nom a été motivé par la supposition préalable de la part de la population, d'une relation avec le ruisseau de la Ronde de La Chaux-de-Fonds. Je ne le crois pas, et pense plutôt qu'il s'agit ici de l'application d'un nom usuel à deux choses de même nature. Il est aujourd'hui avéré que cette relation est cependant réelle, tant que le ruisseau de la Ronde descend par la combe du Valanvron et de la Ferrière. Suivant la distance qu'il atteint et l'absence ou la présence du lac terminal du Cul des Prés, le résultat des essais de coloration est différent. Lorsque ce lac n'existe pas, toutes les sources sont influencées, celle aux Dames un peu plus tard que les autres. Le ruisseau de la combe de Biaufond est également influencé.

En cas d'existence et surtout de grande extension du lac entre le Cernier des Aiges et le Cul des Prés, la Source aux Dames seule est influencée. Ceci s'explique par ce qu'elle participe à des infiltrations en amont du lac et que dans celui-ci la matière colorante se dilue et se détruit au soleil.

Le débit important de ces sources qui peut aller à un total de plusieurs mètres cubes par seconde suppose des cavités souterraines importantes. Il était donc certain que le débit de la Ronde, qui est, même aux hautes eaux, bien au-dessous de celui de ces sources de Biaufond, est en somme un appoint peu considérable pour ces dernières et le trajet souterrain de l'eau n'a été supprimé que par l'obstruction des orifices absorbants et non par celle des canaux profonds. Ceux-ci doivent conserver pour ainsi dire indéfiniment leur capacité, même la faculté corrosive de l'eau tend à les ouvrir toujours davantage. Cette influence ne peut cependant pas être invoquée avec beaucoup de force en ce qui concerne le ruisseau-égoût

de La Chaux-de-Fonds, attendu que son eau chargée de matières solides, de précipité de savon surtout, doit avoir une faculté dissolvante très réduite. C'est même en partie aux dépôts de l'eau du ruisseau que l'on doit attribuer l'obstruction successive des orifices absorbants. Il se perdait autrefois bien plus haut dans la combe et n'atteignait le lac terminal qu'aux très hautes eaux et momentanément.

Mais vu le débit très faible de ce ruisseau comparativement à la capacité des canaux qui débitent l'eau des grandes sources de Biaufond et la rareté de ses fortes crues, j'ai recommandé une solution moins coûteuse que le percement d'une galerie. Il s'agirait de désobstruer les emposieux des moulins de la Ronde et d'y réintroduire le ruisseau-égoût, soit de rétablir le *statu quo* qui existait depuis bien des siècles par l'œuvre de la nature.

L'état hydrologique actuel de la région de La Chaux-de-Fonds, avec son maigre ruisseau-source de la Ronde, résulte de la transformation des flancs supérieurs calcaires en surfaces absorbantes. Primitivement il devait avoir au milieu de ce vallon un cours d'eau superficiel d'un débit moyen de 650 litres par seconde, alimenté par de nombreuses sources. Toutes ces eaux descendaient par la pittoresque combe du Valanvron et de la Ferrière jusqu'à Biaufond. Aujourd'hui la situation est bien changée. Depuis longtemps presque toutes ces eaux sont devenues souterraines; les unes dans leur champ collecteur même, la Ronde, après un parcours de 1500 m.; la combe du Valanvron s'est tranformée en une vallée sèche, parcourue seulement au moment des très hautes eaux par un torrent temporaire venant pour quelques jours régénérer le lac du Cul des Prés, car depuis longtemps aucune eau superficielle ne parvint dans la combe de Biaufond par-dessus la digue d'éboulement qui barre ce petit lac.

La proposition de rétablir le passage souterrain de la Ronde a été agréée et on a procédé ensuite de cette décision aux études préliminaires pour arriver à la réalisation de ce projet. La plus grande difficulté était de retrouver les anciens orifices obstrués, car dans le bâtiment des moulins on avait cimenté le fond des caves et fait disparaître tout ce qui rappelait l'ancienne destination de cette construction. De la scierie il ne restait plus trace depuis plus de 40 ans. Des recherches dans les archives de la commune et des souvenirs de personnes ayant eu à s'occuper des travaux en ce temps lointain, ont permis d'arriver à chef. Grâce à un vieux plan désignant la position de l'ancienne scierie et portant même

l'indication d'un « gouffre », évidemment l'ouverture absorbante de l'eau, des travaux de sondage sur cet emplacement ont amené la découverte d'un puits en partie artificiel, et d'un escalier conduisant à une cavité souterraine fermée par une grille en bois, mais entièrement remplie d'un mastic formé de sciure, de boue de route, de feuilles sèches, etc., le tout imprégné de goudron de houille. Toutefois la vidange de la caverne de la scierie ne permit pas de trouver la suite du passage souterrain (voir croquis, fig. 11 et 12). Aux moulins,

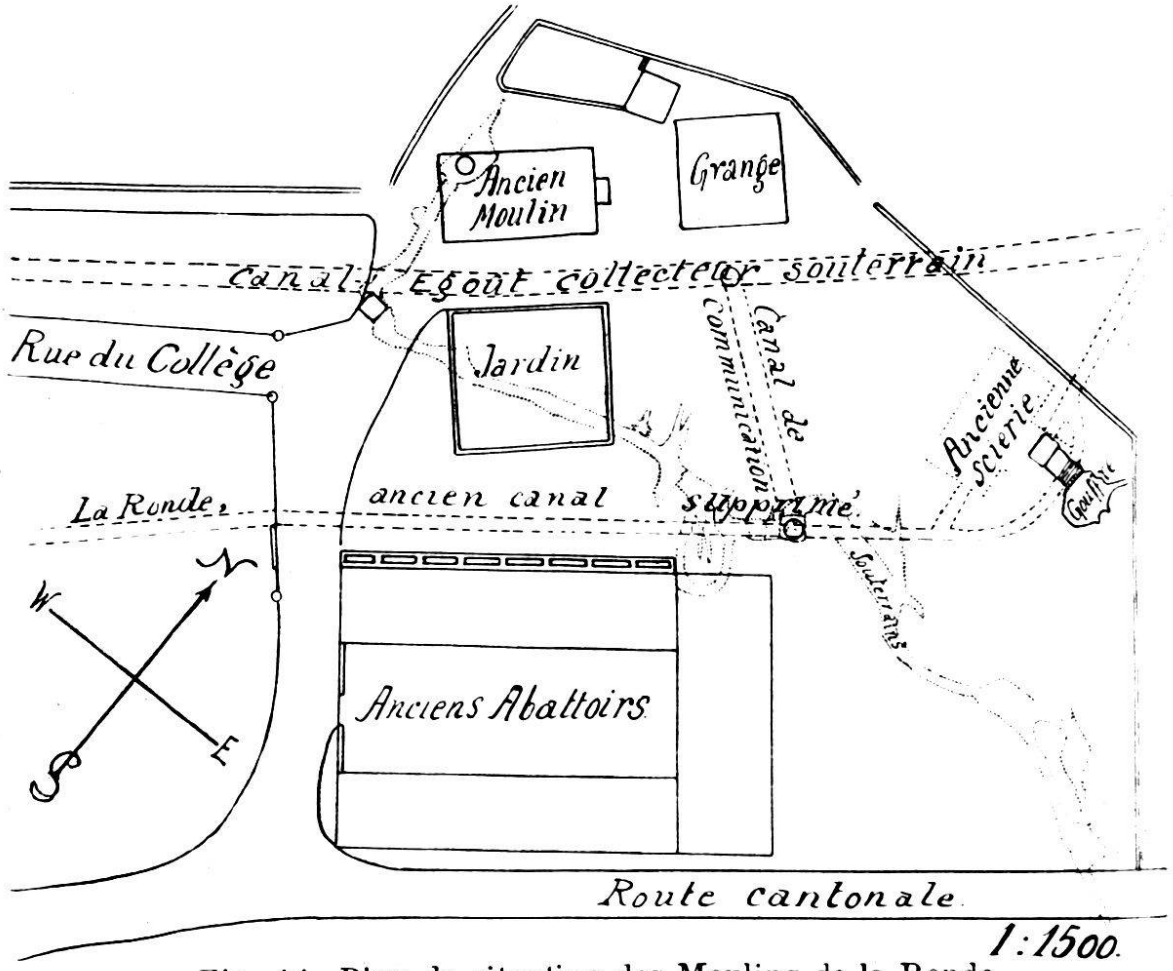


Fig. 11. Plan de situation des Moulins de la Ronde à La Chaux-de-Fonds.

par contre, la percée du plancher bétonné a conduit à un puits vertical maçonné descendant dans une chambre assez spacieuse, celle dans laquelle devait être placée autrefois la roue motrice. On se trouve là dans le calcaire portlandien en bancs minces faiblement inclinés, soit de 10 à 12° vers le S.E. Une galerie accessible sur environ 19 m., dirigée exactement vers le S., se greffe sur cette chambre. Ce passage, large de 2 à 3 m., est en partie couvert de vase et l'épaisseur de celle-ci atteint finalement le plafond, car le couloir va en descendant, en ne laissant subsister qu'un très faible passage, suffisant juste

pour les eaux ménagères de la maison qu'on a laissé s'écouler par cette voie.

C'est donc par le canal d'écoulement des eaux du moulin qu'on pouvait le mieux accéder aux voies souterraines de la Ronde et on se décida de tenter la désobstruction définitive de ce côté. Afin de pouvoir travailler plus facilement, on créa une entrée spéciale, vu la difficulté d'accès par les caves du bâtiment. On a creusé dans ce but un puits muni d'un treuil, exactement sur l'extrémité du couloir souterrain accessible, car il s'agissait d'évacuer à la surface une quantité énorme de vase et de pierres.

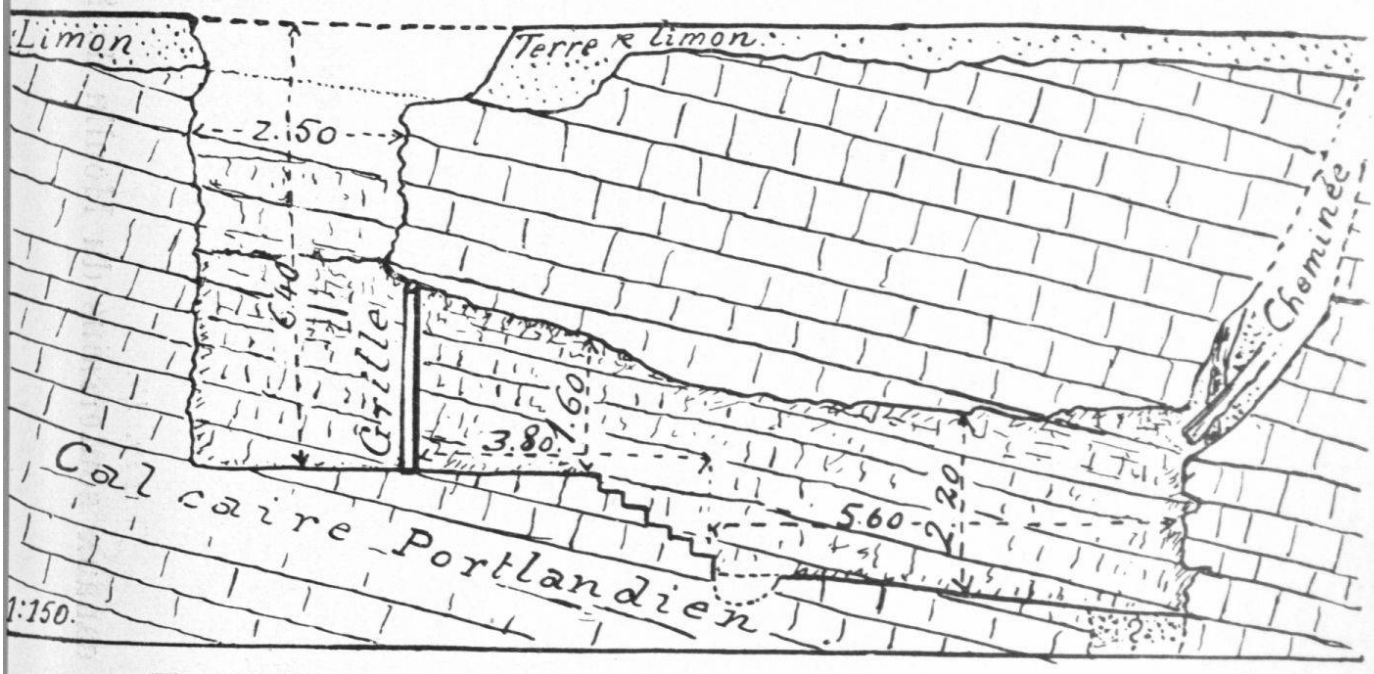


Fig. 12. Profil à travers l'entrée du gouffre de la Scierie de la Ronde à La Chaux-de-Fonds.

Les travaux définitifs furent commencés en 1907 et continués pendant toute l'année 1908, après que les premiers résultats avaient amené presque la certitude d'arriver à brève échéance au résultat désiré.

Voici les résultats de ces travaux et des explorations qui les ont accompagnés (voir fig. 13 et sa légende):

Le puits 2 foncé en face de l'angle S.E. du bâtiment des moulins a rencontré à faible profondeur déjà le calcaire portlandien. On a miné sur une section de $2^{m},50$ de côté jusqu'au plafond du couloir souterrain précédemment constaté, lequel fut percé à une profondeur de $12^{m},50$. A cet endroit, le couloir se coude à angle droit et on constata, après avoir déblayé le remplissage de vase et de débris de toute sorte qui l'obstruaient, que son fond allait en s'élevant, ce

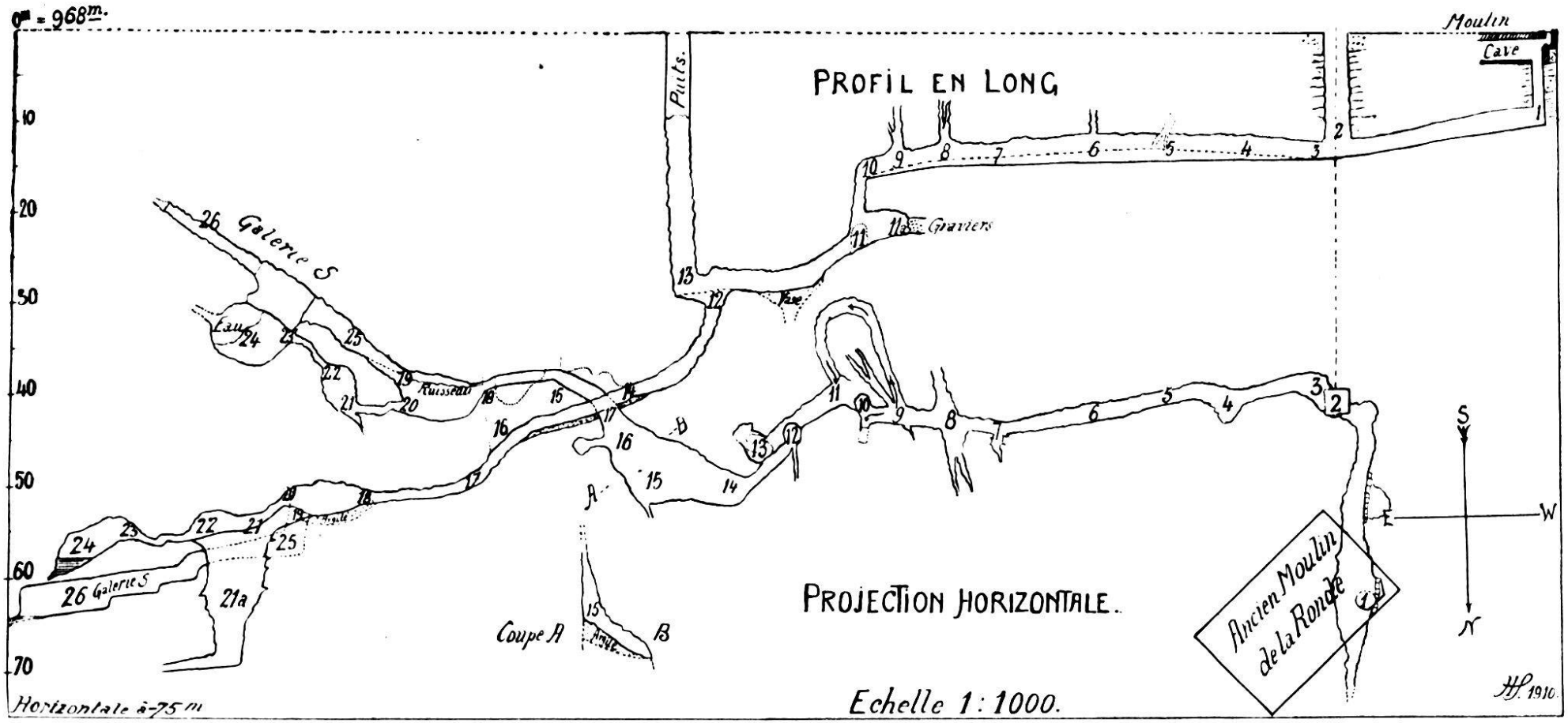


Fig. 13.

Plan et profil des canaux souterrains du Moulin de la Ronde.

LÉGENDE DE FIG. 13:

1. Puits de descente sur l'emplacement de la roue motrice.
1-2. Galerie naturelle dirigée vers le S.
2. Puits provisoire.
3-10. Galerie en dos d'âne, dont il a fallu abaisser le fond. La ligne pointillée indique l'ancien niveau du fond.
4. Excavation latérale.
5 et 6. Cheminées verticales.
7. Amorce de galerie latérale sur une fissure.
8. Deux galeries latérales opposées l'une à l'autre sur le parcours de la même fissure qui se bifurque du côté N.
9. Cheminée et fissure latérale du côté S. communiquant avec l'étage inférieur près du point 11.
10. Entrée du premier gouffre ou puits de l'échelle.
11. Galerie du gouffre II.
11*a*. Cul-de-sac rempli de graviers et sable, probablement un ancien passage obstrué.
12. Gouffre conduisant au couloir de la douche.
13. Grande cheminée qu'on a percée de la surface pour en faire l'entrée définitive.
14. Salle basse; partie élargie d'une cheminée haute et étroite au sommet. Voir coupe *A*...*B*, dont le fond était couvert de vase argileuse et les parois éclaboussées de goudron.
15. Cheminée et fissure latérale à la salle basse.
16. Chambre latérale avec orifice étroit.
17. Entrée du couloir conduisant à la salle de l'argile.
18. Salle de l'argile avec deux passages inférieurs.
19. Passage du ruisseau coulant sur le fond de la salle de l'argile — au début inaccessible; il a été élargi plus tard.
20. Passage de la salle du carrefour 21.
21*a*. Puits à côté de la salle du carrefour, suivant une étroite fissure (largeur 0m,80) et s'enfonçant verticalenent 5 m. plus bas que le canal 25.
22. Boyau étroit en syphon conduisant à la salle du lac (24) à demi pleine d'argile. Extrémité de la partie accessible le 11 septembre 1908.
23. Petit passage latéral inaccessible.
25. Canal étroit amenant à la fissure terminale où les travaux de déblaiement ont été arrêtés en 1909.

qui explique bien l'accumulation de ces matériaux et le maintien d'eau stagnante sur environ 1 m. de hauteur. On fit disparaître à la mine cette contrepente (voir la ligne pointillée entre les points 3 et 10 de fig. 13) en élargissant le couloir aux endroits trop étroits, le plafond s'étant trouvé en général suffisamment élevé. Il est douteux que les anciens usiniers de la Ronde ait exploré cette partie du souterrain; par contre on avait certainement pénétré jusqu'au coude, ainsi que le prouvent des maçonneries destinées à soutenir le plafond entre le puits de la roue et le point 3. Comme les fissures préexistantes dans le rocher sont les voies le long desquelles se creusent par corrosion du calcaire les galeries naturelles, les coudes marquent presque toujours les endroits où la corrosion a quitté une première fissure pour passer dans une autre qui croise celle-là sous un angle variable.

On a pu suivre cette deuxième section de la galerie souterraine sur plus de 50 m., constatant des embranchements latéraux ordinairement très étroits, des cheminées au plafond, soit des « avens » comme on les nomme dans les Causses, sans communication visible avec la surface, des niches et des fissures allant en descendant sur le seuil. On pouvait donc augurer de la façon la plus réjouissante des résultats de ces premiers travaux. Mais c'est la découverte d'un gouffre presque vertical qui mit le comble à la satisfaction des dirigeants de ces travaux. C'est là qu'on pouvait voir s'enfoncer dans la profondeur de la montagne le filet d'eau suivant la galerie. A proximité de cet endroit, il y a un véritable labyrinthe de canaux et de cheminées allant soit en montant, soit en descendant. Ce gouffre permit de descendre encore 10 m. plus bas que la grande galerie et de constater qu'un embranchement latéral près de l'extrémité de celle-ci communique avec une galerie plus inférieure en décrivant un contour en U (entre les points 9 et 11). Une extrémité borgne de celle-ci est comblée par un dépôt de graviers et de sable stratifiés (point 11*a*). Cette galerie à fond assez incliné conduit à une sorte de carrefour, où se présente un court embranchement latéral, par lequel on arrive au-dessus d'une cheminée montant verticalement (point 13), un véritable aven, d'où descend un petit ruisselet d'eau. On se trouve là juste à l'angle N.E. du bâtiment des anciens abattoirs. A l'endroit où commence cette chambre de la grande cheminée sur le point d'entrecroisement de deux fissures, s'ouvre un nouveau gouffre, dans lequel un courageux ouvrier s'était fait descendre et avait raconté merveille des chambres et couloirs qui se trouvaient

au-dessous. J'en fis une exploration le 11 septembre 1908, accompagné de MM. E. Tissot, conseiller communal, Mathias, rédacteur, et plusieurs aides, munis de cordes et d'échelles, tandis que M. Amez-Droz, chef du service électrique de la ville, avait installé un câble téléphonique, car on pensait pouvoir descendre à une grande profondeur et s'avancer du moins loin dans la montagne, ainsi que l'avait permis de présumer la reconnaissance faite précédemment. Cette expédition permit de reconnaître une série de chambres et de couloirs avec des puits allant en montant. Les parties peu inclinées étaient invariablement couvertes d'une épaisse couche de vase. Frappante était surtout la présence sur les parois de plusieurs galeries et d'une fissure verticale de la salle-basse (points 14, 15 et 16) d'éclaboussures noires de goudron desséché, prouvant que c'est par cette fissure que descendait autrefois une partie du moins de l'eau de la Ronde, au temps où l'on y versait encore ce produit de l'usine à gaz, dont la vente est devenue depuis lors d'un rendement plutôt rémunérateur.

Je puis me dispenser de décrire en détail les diverses parties de ces voies souterraines. Le croquis joint à cette note (fig. 13) permet par l'emploi de l'échelle de se rendre compte des dimensions et des directions des passages et chambres, un croquis plus général permet de repérer leur position par rapport aux bâtiments (fig. 12). En réalité on n'a pas pu s'avancer dans la montagne aussi loin qu'on l'avait pensé. Une dernière chambre en partie remplie d'eau stagnante à côté d'un cône d'argile a arrêté l'exploration, après un cheminement d'une centaine de mètres seulement au-delà du deuxième gouffre donnant accès au couloir de la douche et une descente au-dessous de la surface d'environ 60 m. La dernière chambre ne recevait que quelques infiltrations d'eau tombant d'une fissure du plafond, tandis que le ruisselet cheminant sur le fond de la salle de l'argile se perdait dans une fente en partie cachée par de gros blocs.

C'est en suivant cette fissure, en l'élargissant artificiellement, qu'on est parvenu par les travaux continués pendant l'année 1909 à pénétrer dans une galerie se trouvant au-dessous de la salle du lac, ce qui a définitivement vidé cette dernière. On a d'ailleurs débarrassé le remplissage d'argile dans toutes ces chambres et agrandi le boyau étroit conduisant dans la dernière, ce qui dispense à l'avenir les visiteurs de l'exercice de reptation qu'il fallait accomplir dans le lit d'argile pour le traverser. La nouvelle avancée faite le long de la

fissure au S. de la salle de l'argile a conduit dans un étroit corridor se trouvant à environ 8 m. au-dessous de la salle du lac, en sorte que la profondeur totale atteinte actuellement est de 68 m.

Ces travaux seront-ils suffisants? Ou bien devra-t-on les continuer? On a introduit à plusieurs reprises pendant leur exécution la totalité de l'égoût dans les souterrains. D'abord par le puits provisoire près de l'angle de la maison des moulins, puis plus tard par un canal faisant communiquer celui de l'égoût avec une ouverture creusée de la surface jusqu'au grand puits marqué par le chiffre 13. A cette occasion on a pu constater combien le sol aux abords était perméable et et entrecoupé de fentes absorbantes. Avant que ce canal de communication fut définitivement rendu étanche par un radier cimenté, la totalité de l'eau, d'un débit de 4000 l. m., se perdait à moins de 2 m. de distance de sa sortie sur le fond de la tranchée et parvenait quand même dans le dit puits, mais bien au-dessous de son orifice.

Depuis le 15 septembre 1909, le ruisseau-égoût passe définitivement dans les souterrains et le résultat est absolument satisfaisant en temps normal. Cependant on a constaté depuis lors et déjà antérieurement pendant les premiers essais, qu'au moment de crues très subites du ruisseau par des orages et surtout lorsque la neige fond très rapidement, le débit des souterrains ne suffit pas, que les canaux et chambres se remplissent non seulement jusqu'à la grande galerie, mais que même le puits sur l'emplacement de l'ancienne roue du moulin se submerge. La plaque de fer fermant l'ouverture de ce puits a même été soulevée, ce qui explique pourquoi on avait auparavant fermé cette ouverture par du béton. Cette anomalie, qui ne se présente que très exceptionnellement, à de rares fois par année, et seulement pendant quelques heures, est explicable par le phénomène qui se produit chez presque tous les emposieux, surtout ceux qui s'ouvrent au niveau du fond des vallées. En temps de sécheresse et même en temps normalement pluvieux, ils fonctionnent bien comme ouvertures absorbantes, mais sitôt que les flancs des montagnes environnantes sont mis à contribution par de fortes pluies, ou la fonte rapide de la neige, les fissures partant de ces surfaces absorbantes amènent vers les canaux souterrains du réseau sourcier des masses d'eau tellement considérables qu'ils deviennent insuffisants pour en évacuer la totalité, si bien que le niveau de l'eau souterraine monte à partir du point où existe l'étranglement le plus étroit, jusqu'à la hau-

teur des orifices absorbants les plus bas qui sont justement les emposieux du fond des vallées. Alors ces orifices refusent l'eau qui leur parvient et mieux que cela, ils se transforment parfois en sources. Les emposieux de la vallée de La Brévine sont presque tous dans ce cas. Dans la vallée de Joux existe l'entonnoir du Rocheray qui se transforme chaque année au printemps en une source volumineuse. Même non loin des moulins de la Ronde, dans la combe de la Ferrière, prolongement de celle du Valanvron, existe au-dessous des maisons du Fief, un entonnoir accompagné de plusieurs autres plus petits. En temps ordinaire ces ouvertures fonctionnent comme puits absorbants, mais à chaque pluie abondante il en jaillit des sources volumineuses.

La situation de l'emposieu des moulins de la Ronde est cependant telle qu'il y a même espoir de pouvoir supprimer ces rares périodes d'insuffisance du débit. Cela me paraît d'autant plus probable que les travaux de désobstruction ont précisément été arrêtés à l'endroit où la dernière fissure s'est montrée notoirement très étroite et au surplus presque fermée, le plafond entre deux parois très étroites venant toucher le fond rempli de matières argileuses. Il faudrait donc continuer encore les travaux sur une certaine longueur.

Il y a lieu de mentionner ici les résultats des essais de coloration qui ont été faits depuis 1908 sur l'eau du ruisseau introduit dans le passage souterrain.

Nous avons vu que lorsque la Ronde descend par la combe du Valanvron et de la Ferrière, ce sont les grandes sources de Biaufond qui en sont influencées. Ce sont donc celles-ci qui reçoivent dans ces conditions la totalité de l'eau de l'égoût de La Chaux-de-Fonds.

L'introduction de la fluorescéine à trois reprises dans le souterrain, en faisant durer l'observation des sources de Biaufond par prélèvement d'échantillons d'eau pendant 7 et 10 jours lors des deux premiers essais (22 mai et 3 juillet 1908) et pendant 40 jours lors du troisième essai (15 septembre 1909), n'a donné aucun résultat positif. Les deux premiers essais ont été faits avec 5 kg. de fluorescéine, et le dernier avec 6 kg. On n'a pu constater aucune trace de fluorescéine dans aucun des échantillons prélevés. Pourtant la composition de l'eau des dites sources ne s'est modifiée en aucune façon ; celle de la Source aux Dames est toujours fangeuse et la teinte de toutes conserve toujours quelque chose de louche.

Faut-il en conclure que maintenant que la Ronde ne se déverse plus dans la combe du Valanvron, elle n'atteint plus

les sources de Biaufond et qu'elle se joint à un autre cours souterrain alimentant une autre grande source vauclusienne?

Cette question ne peut pour le présent que se poser, en présence de ces résultats négatifs. Mais il y a encore d'autres possibilités: ou bien, la masse d'eau qui circule dans les souterrains de la montagne sur une longueur de plus de 6 km. entre La Chaux-de-Fonds et Biaufond, est si considérable que la dilution de la matière colorante est telle que la fluorescence ne peut plus se voir. Il faudrait pour cela que cette masse d'eau emprisonnée dans les entrailles de la terre soit supérieure à 6 millions de mètres cubes! On voit quel vide immense il faudrait supposer au-dessous du plateau du Valanvron. Dans ce cas, l'essai serait à refaire avec une plus grande quantité de couleur. Ou bien encore, le long contact de la matière colorante avec les substances contenues dans l'eau des égoûts a-t-il pour effet de détruire celle-là?

C'est un problème encore à résoudre. La structure tectonique de la région comprise entre le bassin de La Chaux-de-Fonds et la gorge du Doubs, dont la fig. 10 donne un aperçu, est assez compliquée pour laisser supposer que l'eau qui disparaît par l'emposieu de la Ronde ne parvient plus aux dites sources, ou bien seulement après un parcours extrêmement long et tortueux. A proximité de la combe du Valanvron et le long de celle de la Ferrière court une grande faille de décrochement qui semble avoir été de tout temps la ligne directrice de l'écoulement des eaux souterraines; elle a même déterminé le tracé du creusement de la combe de la Ferrière. La présence de trois anticlinaux sur le plateau du Valanvron n'a donc que peu d'influence sur l'écoulement des eaux souterraines.

Le ruisseau de la Ronde disparaissant sous terre entre la Roche et le Cul des Prés, pouvait atteindre le cours souterrain des sources de Biaufond très rapidement, puisque la distance en ligne droite n'est que de 1 à 3 km. Les essais de coloration en ont donné la preuve.

Aujourd'hui la distance à parcourir serait en ligne droite de $6^{km},500$; elle serait de 8 km. au moins, en supposant que le cours d'eau souterrain suit le tracé du décrochement de la Ferrière. Dans ce cas le temps nécessaire au parcours de ce chemin est certainement bien plus long. Mais dépasse-t-il vraiment 40 jours, ainsi que le ferait supposer le résultat négatif du dernier essai de coloration? Les expériences faites sur le cours souterrain de l'Areuse en démontrent plutôt le contraire.

On pourrait aussi admettre la possibilité d'une autre issue

que les sources de Biaufond. La possibilité est certainement là et il y aurait alors à choisir entre la vallée du Doubs à l'aval de Biaufond ou à l'amont; même une communication avec la Rançonnière ne serait pas exclue. Il se pourrait enfin qu'une source du val de Saint-Imier, par exemple la grande source de la Doux entre Cormoret et Villeret, en fût l'émissaire. Toutefois, l'observation de cette source lors du dernier essai n'y a pas fait découvrir de la fluorescence. Mais cette observation a été faite par les habitants de l'usine voisine, ce qui ne peut être donné comme concluant. En outre, cette source est à 16 km. de distance de l'emposieu de la Ronde, ce qui permet de supposer des cavités souterraines d'autant plus vastes. Il faudrait, pour résoudre cette question, employer une plus grande quantité de fluorescéine et organiser une surveillance suivie, avec prélèvement d'échantillons à toutes les sources soupçonnées d'être les émissaires de la Ronde.

XLII

Sur une coupe de la molasse aquitanienne à la Poissine près d'Onnens (Vaud).

(avec un cliché)

Au commencement de l'année 1909, M. Develey, ingénieur cantonal en chef à Lausanne, a attiré mon attention sur une tranchée en voie d'exécution pour la correction de la route 148 de Lausanne à Neuchâtel, dans le voisinage du pont de la Poissine, entre Grandson et Concise. Afin de supprimer la forte rampe que fait ici la route dès le pont pour gagner la hauteur d'Onnens, on a construit un nouveau pont en fer un peu en amont de l'ancien et franchissant l'Arnon à une hauteur un peu plus grande; ensuite la route entre en tranchée dans le flanc de la colline qui sépare le vallon du ruisseau du Pontet de la grève du lac de Neuchâtel.

Tandis que les fondations du nouveau pont n'avaient rencontré que du terrain d'alluvion, la tranchée en question est entrée presque aussitôt dans du rocher appartenant à la formation tertiaire. Ce terrain constitue le soubassement de tout ce segment du plateau sub-jurassien placé entre le flanc du Jura et la dépression de l'Orbe et du lac de Neuchâtel et qui se termine à La Lance près de Concise. Cependant les

affleurements des couches tertiaires sont assez rares, surtout dans la partie comprise entre Grandson et La Lance; des dépôts glaciaires et fluvio-glaciaires les recouvrent ordinairement en très grande épaisseur. Pour cette raison sans doute on s'était attendu à trouver dans cette colline des couches sableuses et graveleuses et cela d'autant plus sûrement que la forme de sa surface semblait avoir l'aspect d'une moraine. Cependant les couches du Tertiaire se trouvent à une très faible profondeur au-dessous de la surface. La couche de terre végétale a parfois moins de 30 cm. d'épaisseur et les labours un peu profonds atteignent les couches de marne et de grès de la molasse, ainsi que des calcaires qui leur sont intercalés et dont des débris sont mélangés à la terre végétale.

La carte géologique suisse au 1 : 100000 (feuille Dufour XI), publiée en première édition en 1868, indique déjà la molasse à bancs calcaires à fleur du sol le long du coteau entre la Poissine et Corcelles, sur tout le versant qui s'abaisse jusqu'à la grève du lac. La deuxième édition revisée et complétée, parue en 1893, précise encore mieux la situation, en comprenant dans la zone d'affleurement du Tertiaire le versant tourné du côté de l'Arnon, soit le coteau sur lequel se développe la nouvelle route en question; j'avais déjà constaté les affleurements de couches tertiaires dans cette région il y a une trentaine d'années et ce sont ces relevés qui ont été utilisés pour la deuxième édition de la feuille XI.

Les couches tertiaires mises à découvert par la tranchée de la route, sur une profondeur d'environ 5 m., appartiennent à la division supérieure de l'étage *aquitanien,* soit à la molasse à bancs calcaires. Ce sont, en effet, des alternances de bancs marneux, sableux ou argilo-sableux et de couches de calcaires d'eau douce fétides au choc, de couleur gris-brunâtre. L'Aquitanien inférieur, dit Molasse rouge, à cause de la fréquence de marnes argileuses de couleur rouge ou parfois violacée, ne doit se rencontrer qu'à une plus grande proximité du Jura, probablement au-dessous de la dépression du Pontet qui sépare la colline d'Onnens de la côte de Bonvillars. Mais la nature marneuse de cette formation fait que sa zone d'affleurement est ordinairement marquée par des dépressions, dans lesquelles sont venus ensuite se déposer d'importants amas de terrain morainique et fluvio-glaciaire. J'ai cependant constaté la présence des marnes rouges sur les bords de l'Arnon près de Vugelles, de même qu'en amont de Concise, près de la cote 523 m., où une galerie de recherche d'eau a traversé ce terrain sur une certaine longueur. Cette dernière constatation

démontre en outre l'importance de la faille qui suit le pied S. du Mont-Aubert, car à une petite distance de cette galerie se montre le calcaire portlandien qui forme la côte au-dessus des Champs Cherdon. En dehors de la colline qui suit le bord du lac entre la Poissine et Corcelles, c'est le seul témoin de la présence des couches du Tertiaire au N. de l'embouchure de l'Arnon.

C'est la nature assez résistante des intercalations calcaires qui a sans doute motivé la conservation de cette petite éminence perçant au milieu du revêtement morainique de cette région. Les couches plongent régulièrement de 10 à 12° vers le S.E., la direction des bancs est N. 60° E. Le croquis fig. 14 donne la situation de ce gisement au moment de l'ouverture complète de la tranchée et avant qu'on ait taillé les flancs en forme de talus.

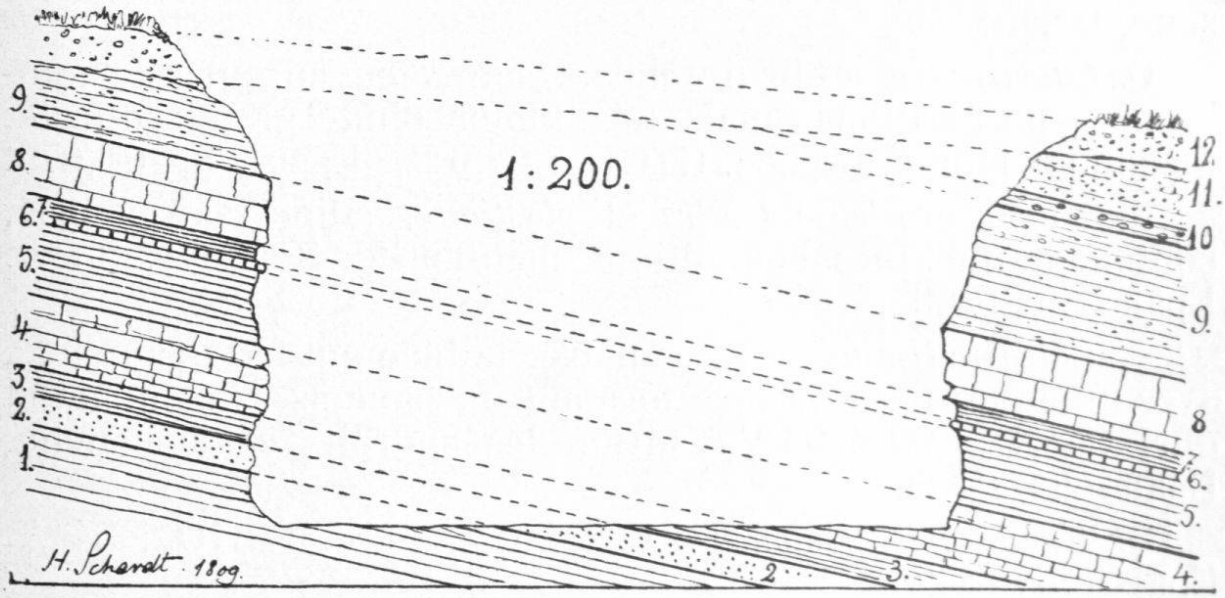


Fig. 14. Coupe géologique à travers la molasse à la tranchée de la nouvelle route de la Poissine, à Onens (Vaud). (Voir explications dans le texte ci-dessous.)

La série des couches observées est du haut en bas la suivante (voir les chiffres de fig. 14) :

12. *Terre végétale* reposant au-dessus des affleurements de calcaire sur un blocage formé de débris de ce dernier. Epaisseur, 30 à 50 cm.

11. *Grès tendre* et *sableux,* plus ou moins argileux et micacé de couleur gris-jaune. Teneur en carbonate de chaux ($CaCO_3$) 30 %. Epaisseur visible, $0^m,40$.

10. *Marne argileuse* gris-jaune, avec nodules durs. Teneur en carbonate de chaux : marne 22 %, les nodules 63 %. Epaisseur, $0^m,20$.

9. *Marne sableuse* panachée de gris, jaune et vert, contenant dans la partie supérieure quelques nodules. $CaCO_3$: 20,5 %. Epaisseur, 1m,20.

8. *Calcaire limnal,* formant distinctement trois lits séparés par des joints de stratification francs. Le *lit supérieur* est de couleur gris-brun, assez compact, ne présentant que de rares perforations; très fétide au choc. $CaCO_3$: 89 %. Epaisseur, 0m,32. Le *lit moyen* est gris-jaunâtre, un peu moins fétide au choc et rendu vacuolaire par d'innombrables perforations contournées et vermiculées. $CaCO_3$: 86,3 %. Epaisseur, 0m,18. Le *lit inférieur* est très semblable au précédent, également peu fétide, gris de couleur et avec quelques perforations remplies d'une matière ocreuse jaune. $CaCO_3$: 85,9 %. Epaisseur, 0m,10. Epaisseur totale du banc 8: 0m,60.

7. *Marne argileuse* jaune clair à gris. $CaCO_3$: 34 %. Epaisseur, 0m,15.

6. *Calcaire limnal* brun foncé, rendu vacuolaire par de nombreuses perforations, mais néanmoins d'une grande dureté, fortement fétide au choc. $CaCO_3$: 97,6 %. Epaisseur, 0m,075.

5. *Marne argileuse tendre* et *plastique,* jaune clair à gris, contenant quelques concrétions noduleuses. $CaCO_3$: 35 %. Epaisseur, 0m,65.

4. *Calcaire limnal* gris brunâtre, faiblement fétide au choc, avec quelques perforations, formant un banc assez compact et dur. $CaCO_3$: 90 à 95 % suivant les endroits de la couche. Epaisseur, 0m,60.

3. *Marne grise limoneuse* et *micacée,* dure. $CaCO_3$: 54 %. Epaisseur, 0m,25.

2. *Grès molassique tendre* et *sableux,* gris et micacé. $CaCO_3$: 14,4 %. Epaisseur, 0m,25.

1. *Marne sableuse micacée,* jaune clair à verdâtre. $CaCO_3$: 24 %. Visible sur 0m,40.

La présence des intercalations de calcaires limnaux gris à bruns caractérise particulièrement ces couches comme appartenant à l'Aquitanien supérieur. Ces calcaires sont tout à fait semblables à ceux qui se voient dans le même étage au chemin de la Rochette et près de la Fabrique dans le voisinage de Boudry. Cependant j'ai cherché en vain des fossiles. Il ne m'a pas été possible de découvrir la moindre trace de *Planorbes* ou de *Limnées* dans aucune des trois couches calcaires. La couche inférieure était, le jour de ma visite, particulièrement bien à découvert; on avait déblayé tous les bancs superposés

sur une grande surface et on s'apprêtait à faire sauter le calcaire à coups de mine. Malgré cette disposition favorable je n'ai pas pu découvrir des restes d'organismes. L'examen microscopique de quelques tranches minces n'a pas donné de bien meilleurs résultats : une graine de *Chara* et, par-ci par-là, des spicules de *Spongiaires*.

XLIII

Sur la découverte d'un rognon manganésifère dans le Hauterivien supérieur.

M. Charles Zumbach, notre collègue, propriétaire de carrières de pierre jaune qu'il a mises en exploitation, depuis quelques années, entre Hauterive et Saint-Blaise, m'a fait parvenir en 1909 un fragment d'un minerai à éclat métallique gris noir provenant de l'une de ses carrières de Saint-Blaise. Je supposais immédiatement qu'il s'agissait d'un minerai de manganèse. Divers autres fragments plus petits me furent encore remis par M. Zintgraf, pharmacien à Saint-Blaise, qui les avait reçus du contremaître de la carrière. Il est bien regrettable que cette trouvaille remarquable n'ait pas été conservée intacte. On s'est hâté de mettre la masse métallique en pièces et chacun voulut en emporter des morceaux.

Forme de l'amas de minerai. — D'après les renseignements que j'ai pu recueillir sur place et à juger de la forme extérieure des fragments que j'ai pu obtenir, ce devait être une concrétion ovalaire probablement creuse à l'intérieur d'environ 15 cm. de longueur sur 10 à 12 cm. de largeur et ayant une épaisseur semblable. Elle devait présenter une cavité à l'intérieur et la paroi de celle-ci était couverte de sculptures mamelonnées à éclat métallique. Par-ci par-là il y avait des restes d'une matière ocreuse jaune adhérente au minerai noir, mais nullement mélangée avec lui. Le poids total de ce rognon nous est malheureusement inconnu, mais il pouvait bien atteindre 2 à 3 kg.

On constate sur la cassure une structure finement fibreuse, par places aussi une texture finement grenue. La surface déteint en noircissant les doigts. Ces caractères me firent de suite supposer qu'il s'agissait de pyrolusite ou minerai de manganèse tendre (MnO_2).

Gisement. — Je n'ai eu connaissance de cette trouvaille que plusieurs semaines après sa découverte et n'ai pas pu reconnaître la situation qu'occupait le minerai dans l'intérieur de la pierre jaune. D'après ce que m'a fait voir sur place le contremaître des carrières Zumbach, c'est dans la carrière supérieure, ouverte sur l'emplacement du puits de sondage II (voir *Mél. géol.*, VII)[1], à environ 15 m. de profondeur au-dessous de la surface, que gisait la concrétion placée à plat dans le sens de la stratification et laissant après son enlèvement une cavité ovalaire. A ce niveau se trouve, au milieu de la teinte ordinairement jaune de la roche, une zone où elle est colorée en gris ou bleu verdâtre. C'est le niveau de pierre exploitable, dit « banc bleu » ; cette teinte provient de l'abondance de grains de glauconite et de matières argileuses gris verdâtre qui teintent les éléments composant la pierre. Je suppose que dans la pierre jaune normale nous avons de la matière ferrugineuse à l'état de sesquioxyde hydraté, tandis que dans la pierre gris verdâtre c'est un protoxyde hydraté de fer ou un silicate alumineux de celui-ci. C'est également dans ces parties verdâtres que se trouvent des cristaux de pyrite de fer disséminés dans la roche ou à l'état de concrétions. On pourrait se demander si cette particularité de la coloration verdâtre au niveau où a été trouvée la concrétion manganésifère pourrait avoir une certaine relation avec la genèse de celle-ci. Il ne me paraît pas que ce soit le cas, attendu que l'emplacement où gisait le minerai était situé précisément dans une partie jaune de la pierre au contact avec la région verte. Ce devait être une cavité dont la masse métallique garnissait les parois, preuve la forme irrégulière de la surface extérieure de celle-ci. Elle ne devait pas adhérer fortement à la roche, car je n'ai pas pu constater de restes de pierre jaune adhérente. Il nous manque ainsi la preuve matérielle et palpable de la provenance même de ce minerai ; ceci dit à titre de simple remarque, car je ne doute aucunement des affirmations concernant cette trouvaille, unique jusqu'ici. Je dois faire ressortir encore que l'emplacement qui m'a été désigné comme ayant été proche du lieu de gisement de ce rognon de minerai, est formé de pierre jaune saine, en dehors de toute imprégnation ou infiltration sidérolitique (chancres). Ce niveau a d'ailleurs fourni d'excellente pierre de taille. On se serait attendu plutôt à trouver des concrétions métalliques

[1] *Bull. Soc. neuch. sc. nat.*, t. XXXIV, « Mél. géol. », fasc. VII, pl. II, fig. 2.

dans une région parcourue par des infiltrations sidérolitiques, où l'on rencontre non seulement des concrétions phosphatées (voir « Mélanges géologiques », fasc. 7, N° XXXI, p. 206, *Bull. Soc. neuch. sc. nat.*, t. XXXIV), mais aussi des nodules ferrugineux et concrétionnés, composés de limonite. Leur gisement est cependant très différent de ce que doit avoir été celui de notre rognon manganésifère, puisque la roche qui devait l'entourer était entièrement saine et nullement corrodée, comme c'est le cas ordinairement autour des infiltrations sidérolitiques. Mais quant aux détails de ce gisement, nous sommes réduits aux conjectures. Il eût été de la plus haute importance pour la détermination de l'origine et du mode de formation de ce minerai de pouvoir reconnaître la nature et la forme de l'alvéole ayant contenu le rognon. Malheureusement rien n'en a été conservé. On s'est contenté de sortir le minerai et de le briser en fragments, sans faire aucune autre constatation précise.

Averti suffisamment tôt, j'aurais au moins pu étudier la nature des parois de l'alvéole et les relations de la pierre jaune avec le minerai, notamment la présence ou l'absence d'un canal nourricier. En effet, cette formation métallifère doit appartenir, malgré son aspect concrétionné, à la catégorie des « géodes [1] », désignées par « sécrétions », c'est-à-dire d'amas géodiques formés par remplissage d'une cavité préexistante, des parois vers le centre. En cela les sécrétions diffèrent essentiellement des « concrétions » qui s'accroissent du centre vers la périphérie. Notre rognon de minerai de manganèse doit donc s'être formé, ou bien par circulation d'une eau minéralisée arrivant par un canal nourricier dans la cavité préexistante, ou bien par exsudation des parois mêmes de la cavité ; dans ce dernier cas l'existence d'un canal nourricier n'est pas nécessaire. Il n'est pas possible actuellement de déterminer d'après laquelle de ces deux alternatives sa formation a eu lieu ; je pense plutôt que c'est d'après le second mode.

Composition et propriétés chimiques. — J'ai déjà mentionné que les caractères physiques du minerai en question justifiaient la présomption qu'il s'agissait d'une géode de pyrolusite. En effet, en chauffant dans une éprouvette, on voit au début se dégager une certaine quantité d'eau qui se dépose

[1] Le terme « géode » a pris en français pour beaucoup d'auteurs une signification fausse, en ce sens qu'on entend par ce mot une *cavité* à parois garnie de dépôts minéraux ou de cristaux (géode de cristaux). Mais le sens originel, que je voudrais maintenir, est plus général, soit celui d'amas minéraux arrondis et contenus dans un autre terrain. (Géode = nodule ou renflement pierreux.)

contre les parties froides du tube, puis on constate en chauffant assez fortement un dégagement d'oxygène.

M. le Dr H. Altweg, assistant au laboratoire de chimie de l'Université de Neuchâtel, a bien voulu analyser ce minerai. Il y a trouvé, après dessication :

MnO_2	89 %
Fe_2O_3	11 %

Il s'agit donc bien de pyrolusite, mais d'une composition assez impure, vu la forte proportion de fer. La pyrolusite bien cristallisée ne contient généralement que très peu ou point de fer, tandis que le psilomélane, ou minerai de manganèse dur, en peut contenir jusqu'à 16 %. Il serait donc possible que notre minerai soit intermédiaire entre les deux, mais il aurait fallu déterminer si, à côté du MnO_2, il y a encore du MnO. Sous réserve de cette détermination à faire encore éventuelllement, nous pouvons désigner ce minerai de pyrolusite ferrugineuse. Rien n'empêche d'ailleurs la pyrolusite de contenir de l'oxyde de fer dans une proportion variable.

Pour terminer, je remercie encore M. Altweg pour le travail qu'il a bien voulu me consacrer, en faisant l'analyse de ce minerai.

XLIV

Sur une nouvelle poche hauterivienne dans le Valangien aux Fahys sur Neuchâtel.

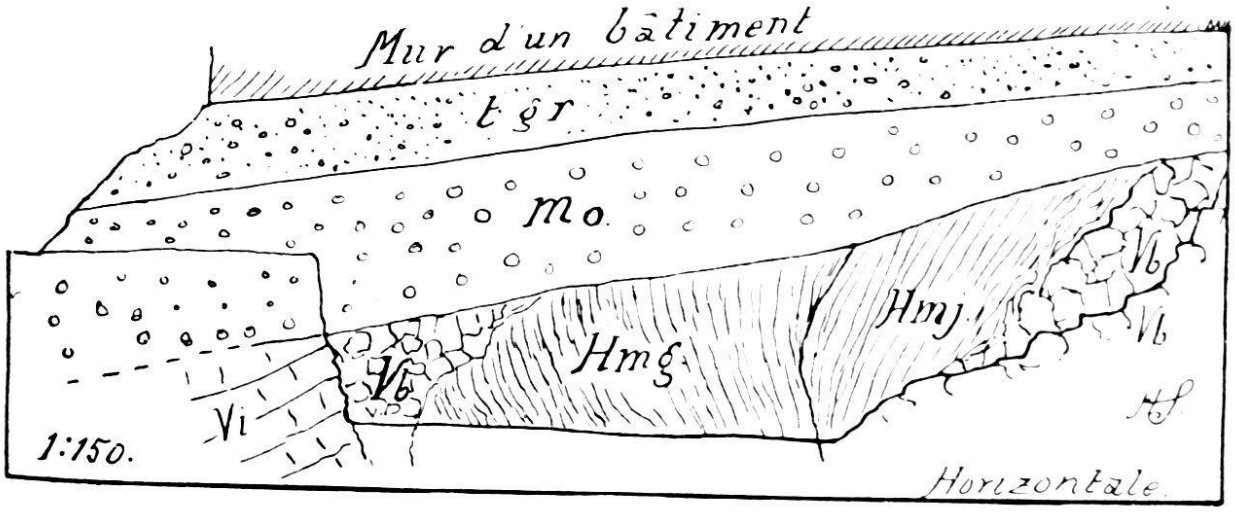
(avec un cliché)

J'ai signalé il y a dix ans (voir Bibliographie à la fin de l'article) l'existence d'un important remplissage de marne hauterivienne et surtout d'un blocage de calcaire valangien et hauterivien, derrière le restaurant du Jura-Neuchâtelois, en amont de la route des Fahys à Neuchâtel. Ce gisement est aujourd'hui encore visible, au moins en profil, car la plus grande partie en a été enlevée au cours de l'exploitation et sur l'emplacement de la partie antérieure se trouve un jardin. Mais en arrière de celui-ci se voit très nettement la coupe du remplissage brèchiforme entre deux parois de calcaire valangien inférieur. La genèse de ce gisement anormal que j'ai cherché à établir dans la notice ci-dessus mentionnée, est de ce chef nettement visible. C'est un glissement de marne hau-

terivienne, de calcaire hauterivien supérieur et de Valangien inférieur et supérieur; le tout est venu occuper pêle-mêle un ravin creusé dans le marbre bâtard ou Valangien inférieur, phénomène qui a dû se produire antérieurement à l'époque glaciaire.

Je me suis toujours attendu à trouver des gisements analogues le long du coteau des Fahys, en raison des nombreuses traces de glissement dans le sens de la pente du terrain.

En effet, lors d'une excursion faite à la fin d'avril 1910, j'ai eu l'occasion de constater, dans une excavation creusée en vue de la construction d'une maison pour le compte de la société immobilière du Bois de l'Hôpital, une nouvelle poche de marne hauterivienne, qui diffère par divers caractères de celle découverte en 1898.



Fig, 15. Coupe de la Poche hauterivienne sur la propriété du Bois de l'Hôpital aux Fahys (Neuchâtel).

LÉGENDE :

tgr. Terre végétale et graviers.
Mo. Moraine.
Hmg. Marne hauterivienne grise.
Hmj. Marne hauterivienne jaune.
Vb. Blocage de Valangien inférieur.
Vi. Valangien inférieur (Marbre bâtard).

Elle se trouve à moins de 50 m. au N.E. de celle-ci, sur le fond presque immédiatement contigu et dans une situation semblable, soit en amont de la route.

Le croquis fig. 15 montre la situation en profil transversal. On constate en premier lieu que ce gisement est nettement recouvert par la moraine, dont cependant aucune partie ne pénètre dans le remplissage lui-même. Au-dessus de la moraine, qui est épaisse de 2 à 3 m., se place encore une couche de terre rouge brunâtre contenant des graviers. Ce gisement n'est en aucun cas la continuation de celui du restaurant du Jura-Neuchâtelois. Entre deux se trouve une saillie de calcaire valangien inférieur sur laquelle repose un bâtiment.

Mais c'est la situation et la structure de ce nouveau gisement anormal qui forment une différence considérable. La forme de l'excavation n'est pas, comme dans le premier, un ravin entre deux parois latérales parallèles et s'ouvrant dans la direction du lac. On constate au contraire qu'il s'agit d'une excavation paraissant avoir un certain développement dans le sens horizontal et qui est fermée du côté du lac, soit dans la direction du S.E. par une paroi coupée à pic du Valangien inférieur (*Vi.*). La surface de ce calcaire présente à la fois des traces de corrosion et des surfaces de glissement qui doivent dater de l'époque de la formation de ce gisement anormal.

Ce dernier consiste en un lambeau, large d'environ 6 m., de marne hauterivienne grise (*Hmg.*), suivi du côté N.W., par un paquet épais d'environ 3 m. de marne hauterivienne jaune oxydée (*Hmj.*). Cette marne paraît être presque intacte et compacte, à tel point que si on ne pouvait voir la situation anormale, on la prendrait pour de la marne hauterivienne en place, bien que le plongement, qui est, pour la marne grise, à peu près transversal à celui que présentent les couches du Valangien dans cette région, serait de nature à surprendre. On constate sans peine qu'il s'agit bien de la marne du Hauterivien inférieur, d'après les fossiles suivants, trouvés, soit au moment de la découverte, soit plus tard par M. John Leuba :

Rhynchonella multiformis, Rœm.
Terebratula acuta, Quenst.
Astarte gigantea, Pict. et C.
Toxaster complanatus, Des.

Il n'y a pas, comme dans la plupart des poches hauterivienne du bord du lac de Bienne, des fragments usés par frottement de calcaire valangien inférieur ou autres, disséminés dans la masse marneuse, montrant que celle-ci doit avoir été pétrie pendant le transport dans son gisement actuel. Ici, au contraire, la marne doit s'être déplacée en une seule masse, sauf peut-être la partie inférieure qui a dû frotter sur la surface de glissement. Cependant le fond de la poche n'est pas visible, l'excavation n'ayant pas été poussée assez profondément. Le contact entre la marne et le Valangien n'est pas immédiat, mais il y a du côté amont, comme du côté aval, une brèche ou blocage, composée presque exclusivement de calcaire valangien (*Vb.*). La marne se mélange à ces blocs, en pénétrant dans les interstices, mais non sur toute l'épaisseur. Les blocs de cette brèche sont plus ou moins arrondis et *couverts de stries de glissement,* ce qui provient sans doute de leur entrefrottement pendant le mouvement glissant. Ils repré-

sentent une brèche de friction qui a dû servir de lit à la marne en mouvement.

L'excavation, due sans doute à l'érosion, qui a reçu ce remplissage marneux et brèchoide, doit avoir eu la forme d'un creux transversal à la pente du terrain ou oblique à celle-ci en s'enfonçant du N. au S., soit dans la direction de la grande poche-ravin derrière le restaurant du Jura-Neuchâtelois. En effet, tandis qu'on ne voit pas le fond du remplissage marneux dans la partie sud de la fouille, on constate par contre dans la partie nord que le fond en blocage passe visiblement au-dessous du lambeau de marne. Il est vrai que nous ne savons pas quelle est la profondeur réelle de l'excavation, puisque l'épaisseur de ce blocage n'est pas connue. En admettant toutefois que cette épaisseur est sensiblement la même, nous pourrions en déduire que le fond rocheux est plus haut dans la partie N.E., où le lit de brèche vient au jour au-dessous de la marne. Un autre argument en faveur de cette supposition est que de ce côté la largeur du lambeau de marne n'est plus que de 2 à 3 m., alors qu'elle est de 6 m. du côté S.W.

Ici, comme pour la poche hauterivienne derrière le restaurant du Jura-Neuchâtelois, comme aussi pour tous les gisements anormaux du Hauterivien dans la région du lac de Bienne, la genèse doit s'expliquer par un *glissement de terrain* dans des excavations préexistantes, creusées par l'érosion. Ces mouvements de terrain ont eu lieu avant l'époque glaciaire, par suite de l'enlèvement du pied des couches fortement inclinées. Ce phénomène rentre donc dans la catégorie des éboulements et glissements de terrains.

Le Valangien n'est pas visible du côté immédiatement en amont de la poche; de ce côté tout est formé de blocage couvert de moraine. On a fait encore des fouilles au-dessus de cet endroit, en vue de la construction d'une autre maison et on y a atteint le Valangien inférieur en place au-dessous de la moraine. Cette poche rentre d'après sa forme dans le type des poches ouvertes en haut et représente en petit la configuration de celle de « Im Rusel », au N.E. de Daucher, sur le bord du lac de Bienne.

Cet accident a été une surprise heureuse pour la géologie, mais fort désagréable pour l'entreprise en question qui comptait trouver sur l'emplacement des constructions projetées de la pierre utilisable pour l'édification de celles-ci, tandis qu'on n'y a trouvé que de la marne qu'il a fallu charrier au lac et de la moraine que l'on a dû évacuer de même pour la plus grande partie.

Bibliographie.

H. SCHARDT et E. BAUMBERGER. « Etudes sur l'origine des poches hauteriviennes dans le Valangien inférieur entre Gléresse et Bienne ». *Bull. Soc. vaud. sc. nat.*, t. XXXI, 1895, p. 247-288, et *Eclogæ geol. helv.*, t. V, p. 159, 1897 (édition allemande).

H. SCHARDT. « Une poche hauterivienne dans le Valangien aux Fahys, près Neuchâtel. » *Mél. géol.*, fasc. 1, *Bull. Soc. neuch. sc. nat.*, t. XXVIII, 1900, p. 180-190.

H. SCHARDT. « Sur divers gisements anormaux du Crétacique. » *Mél. géol.*, fasc. 5, *Bull. Soc. neuch. sc. nat.*, t. XXXII, p. 81-98.

XLV

Un décrochement transversal au chaînon de Châtollion sur Saint-Blaise.

(avec trois profils et un cliché)

Le chaînon de Châtollion qui s'élève au N.E. de Saint-Blaise en forme d'anticlinal d'abord régulier, puis chevauché vers le N.W., présente en même temps, presque au point où commence le pli-faille, un singulier décrochement qui n'avait pas attiré mon attention jusqu'ici. Il n'est d'ailleurs pas d'une très grande importance, mais il acquiert une certaine signification à cause de sa relation probable ou possible avec le chevauchement de ce chaînon.

J'avais constaté, il y a déjà une douzaine d'années, que cet anticlinal a été chevauché du côté du synclinal de Voëns par un pli-faille qui met en contact discordant le Valangien inférieur renversé et le Portlandien supérieur, partie inférieure. Le contact en question se voit parfaitement bien au droit de la maison de la Goulette. Nous devons à M. le Dr FÉLIX BÉGUIN des détails sur l'importance de cet accident, dont il évalue le rejet à 35 m. environ. (« Un pli-faille à Châtollion », *Bull. Neuch.*, t. XXVIII, 1900, p. 206-214.)

Le commencement de ce pli-faille se place près de l'endroit où, sur la carte Siegfried, se trouve au N.E. de Saint-Blaise la cote 505 m. Jusqu'à ce point, l'anticlinal qui s'élève graduellement dès le bord du lac, paraît encore complet, bien que le flanc W., tourné du côté de Chaumont, soit nettement déjeté et certaines couches peut-être réduites en épaisseur. En effet, lorsqu'on suit le profil en travers de cette colline

entre le marais du Loclat et la route de Voëns près de la courbe 510 m., on constate que du côté E. couvert de vignes les couches plongent régulièrement vers E.-S.E. de 30 à 40° (20° seulement au droit du village de Saint-Blaise). On trouve successivement l'Urgonien supérieur, l'Urgonien inférieur, la pierre jaune du Hauterivien supérieur, puis un palier indique la présence des marnes du Hauterivien inférieur. Le chemin qui de Saint-Blaise conduit à Châtollion, en longeant un mur de clôture de vigne, se trouve sur le sommet du Valangien inférieur. Le Valangien supérieur est donc en partie sous le chemin et en partie sous le haut des vignes qui s'étendent aussi sur le Hauterivien. Le Valangien inférieur forme la partie culminante de cette section de la colline. On y constate très bien la forme anticlinale des couches qu'on a exploitées autrefois. Mais le plongement dans la direction du vallon de la Goulette est très brusque; à peine a-t-on dépassé la ligne de faîte que les bancs s'enfoncent vers le W.-N.W. de 70 à 75°. Sur le marbre bâtard du Valangien inférieur se place directement un placage de calcaire limoniteux du Valangien supérieur. Le fond plat du vallon doit être forcément sur la marne hauterivienne. Mais elle ne doit pas occuper une place bien large, car entre la combe et la route se place un massif de calcaire urgonien supérieur plongeant en sens contraire. Il y a donc sur l'emplacement de cette combe non seulement la dépression causée par l'érosion des marnes hauteriviennes, mais encore un synclinal, dont cependant le flanc E. manque complètement, enlevé qu'il est par l'érosion. On voit donc que le pli de Châtollion est dès son origine franchement asymétrique, accusant un déjettement du côté de l'W., mais on ne saurait affirmer qu'il existe déjà dans cette partie que nous venons de considérer un véritable pli-faille le long du flanc déjeté. Le profil I ci-contre (fig. 16) passe cependant un peu plus près du lac que l'endroit décrit. Le Valangien n'y vient pas au jour, l'anticlinal est moins asymétrique et le petit synclinal est presque complet et contient de la molasse.

Un peu au N.E. du point coté 505 m., à l'endroit où s'arrête la vigne qui atteint ici presque la croupe culminante de la colline, on voit que le calcaire valangien qui se développe le long du chemin de Châtollion, s'arrête également, et, sur une largeur de près de 100 m., on a devant soi une prairie presque plane, occupant certainement l'emplacement d'un terrain marneux. L'âge de ce terrain n'est pas douteux après la constatation qu'à partir du mur de clôture de la dite vigne (qui est située sur la marne hauterivienne, ainsi qu'il

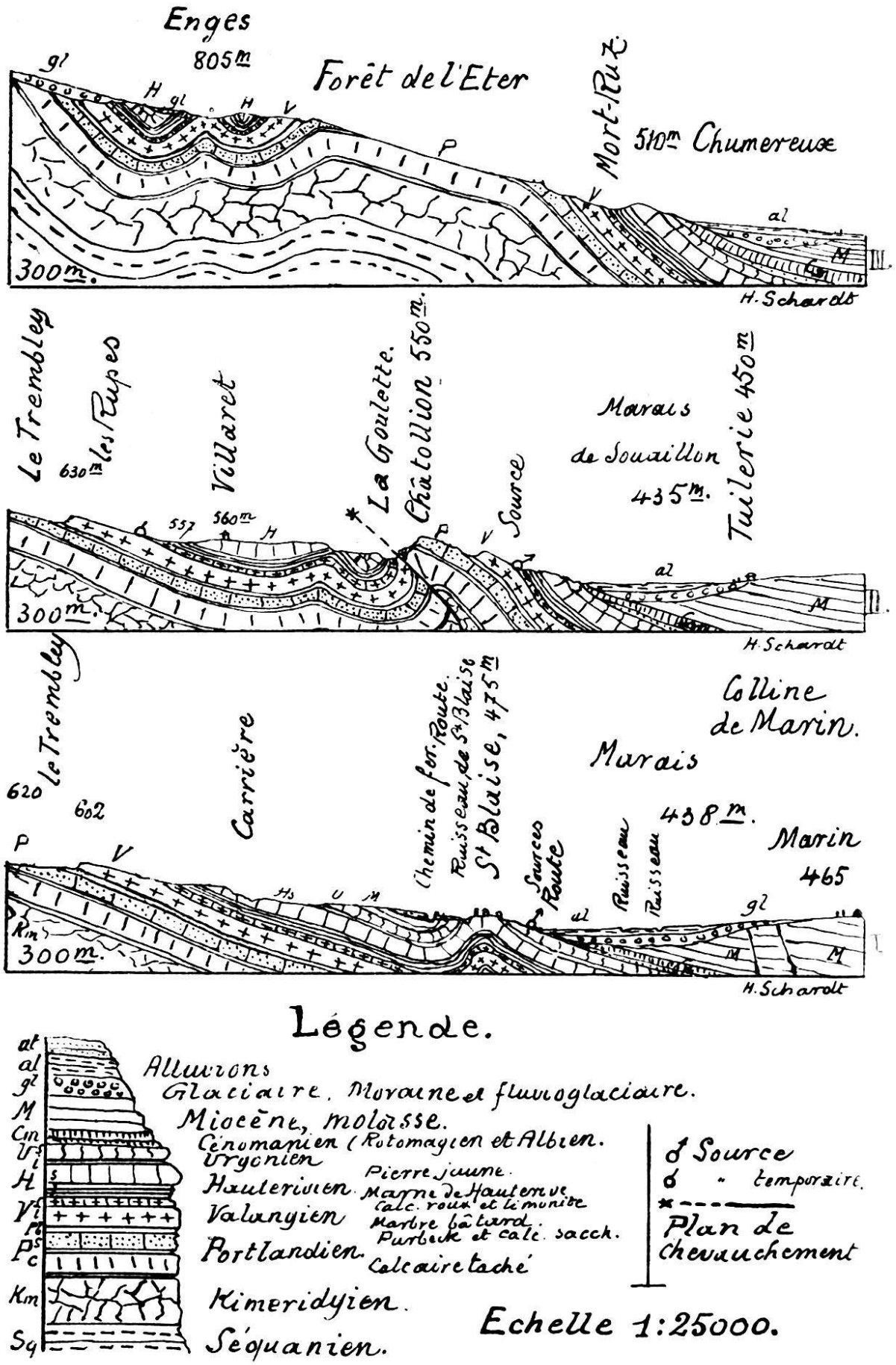


Fig. 16, 17, 18. Trois profils géologiques à travers le chaînon de Châtollion-Rochoyer.

a été dit plus haut), c'est la pierre jaune du Hauterivien supérieur qui se place ainsi sur le prolongement de la marne hauterivienne. C'est donc ce dernier terrain qui occupe l'emplacement de la prairie en question, au-devant (N.W.) de la pierre jaune et en se plaçant ostensiblement sur le prolonge-

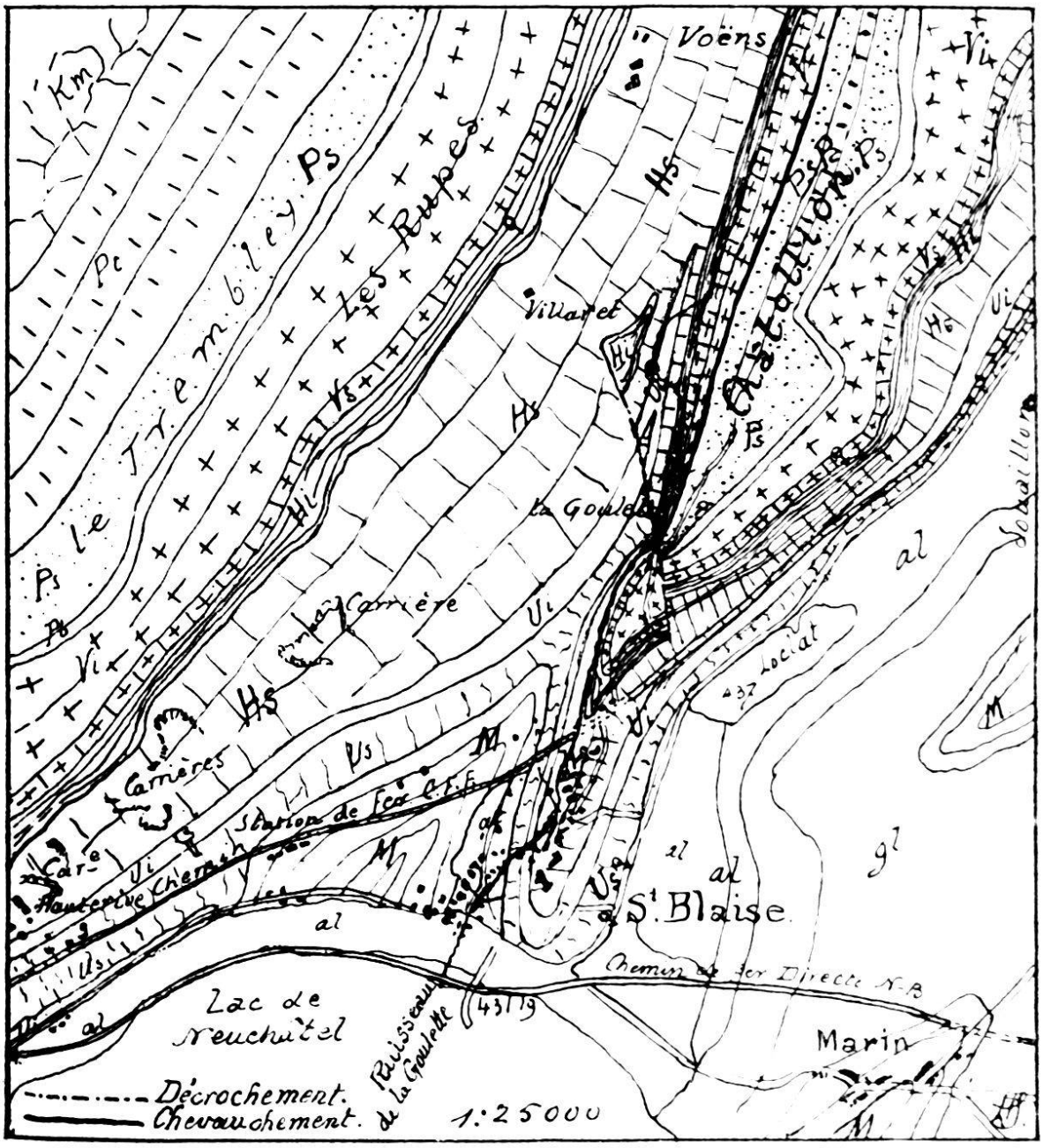


Fig. 19. Croquis de la situation du décrochement du pli-faille du chaînon de Châtollion. Même légende que les profils.

ment du Valangien. En effet, lorsqu'on suit le bord de ce dernier dans la direction du N.W., soit presque à angle droit avec l'alignement des couches, on retrouve le Valangien avec sa direction normale et plongeant contre la prairie, soit sous la marne hauterivienne que nous supposons là. Cette pré-

somption devient certitude par la présence de traces du calcaire roux du Valangien supérieur le long de la ligne de contact. En revenant ensuite sur le chemin qui se dirige vers le haut de Châtollion, on voit que les deux bandes de Valangien se joignent en formant un angle un peu plus ouvert qu'un angle droit. C'est surtout le long d'un sentier qui descend de ce point dans la combe de la Goulette que la situation se montre d'une façon particulièrement claire. Dans le haut on voit le Valangien de part et d'autre en contact. Mais tandis que du côté W., c'est le Valangien du flanc S.E., avec plongement dans le même sens, on a par contre du côté E. ce même terrain avec plongement N.W., parce que c'est le Valangien du flanc N.W. de l'anticlinal. Après s'être engagé dans le dit sentier, on se trouve en présence d'un contact plus surprenant encore; à la gauche (W.) c'est toujours le Valangien inférieur du flanc N.W., sur lequel se superpose un peu plus loin le calcaire limoniteux; nous sommes donc près de la limite supérieure de cet étage; mais à droite se montre le calcaire saccharoide caractéristique du Portlandien supérieur. La distance de l'un à l'autre n'est que la largeur du sentier; il n'y a conséquemment aucun doute que ce sentier suit un *contact anormal,* dont la nature est trahie par la présence sur le calcaire valangien à gauche du sentier d'un beau miroir de glissement vertical portant des stries sensiblement horizontales. Ces contacts anormaux des divers terrains que nous venons de constater sont donc dus à un *décrochement horizontal* de la partie N.E. du chaînon de Châtollion, le long d'un plan de glissement sensiblement vertical ayant presque la direction du méridien magnétique, et coupant la colline de part en part, en amenant le Portlandien supérieur en présence de la partie supérieure du Valangien inférieur. La valeur du rejet peut donc être évaluée à environ 60 m., soit l'épaisseur du Valangien inférieur et d'une partie du Portlandien supérieur, en tenant compte en outre de la déclivité des couches. La petite carte ci-contre (fig. 19) rend compte aussi bien que possible de la situation de cet accident dans la projection horizontale. En traversant la combe de la Goulette dans la direction de ce décrochement, on arrive en face d'une paroi de calcaire compact qu'il n'est pas difficile de reconnaître pour de l'Urgonien supérieur plongeant vers le S.E. Cette paroi est marquée de stries de glissement horizontales bien distinctes et il n'est guère douteux qu'elle appartient à la lèvre S.W. du même décrochement. Ce fait paraît d'autant plus évident que sur le prolongement

de cette paroi se place, sur le flanc N.W. de la combe, la pierre jaune (Hauterivien supérieur) qui devrait se trouver bien plus au S.E. Ces couches plongent d'ailleurs en sens inverse à celles de l'Urgonien; elles appartiennent donc à un autre élément tectonique que ce dernier, soit au flanc S.E. du synclinal, tandis que l'Urgonien fait partie du flanc N.W. Ces deux terrains sont arrivés en contact par un déplacement de la lèvre N.E. du décrochement. Ici cependant il n'est pas possible de déterminer la valeur du mouvement, comme le contact entre le Valangien et le Portlandien nous a permis de le faire. Il est probable que le rejet n'est pas inférieur à l'évaluation précédente. Il est à remarquer en outre que la direction du vallon de la Goulette subit une déviation sensible; de la direction S.E.-N.W. qu'il a à son entrée en amont de Saint-Blaise, il passe à une direction S.N. jusqu'au-dessous de la maison de la Goulette, pour reprendre ensuite son ancien alignement. C'est le décrochement que suit le sillon d'érosion sur une certaine longueur qui est la cause de cette déviation.

C'est à partir de la traversée de ce plan de rupture à travers la combe de la Goulette que se montre sur le flanc E. de celle-ci le remarquable pli-faille que j'ai mentionné au début. On peut bien admettre qu'il se prépare déjà auparavant, soit au S.E. de la ligne de rupture, où l'on constate un étranglement de la marne hauterivienne; mais le Valangien y est au complet. Au N.E. du décrochement, par contre, le Valangien est presque complètement oblitéré, recouvert par le Portlandien qui surgit subitement à partir du plan de décrochement (voir la carte, fig. 19). Vis-à-vis de la maison de la Goulette se voit encore sur le fond du vallon une petite saillie au pied de Châtollion; elle est formée de Valangien inférieur avec une bordure de calcaire roux. Ces couches s'enfoncent visiblement sous les rochers formant le pied de la colline et qui appartiennent au Portlandien supérieur, plongeant au N.W. Un peu en amont de la Goulette se voit du calcaire limoniteux ou Valangien supérieur presque au pied même du Portlandien et au contact du plan de chevauchement du pli-faille apparaît le Valangien inférieur, partie supérieure, renversé (voir profil II, fig. 17).

Les deux accidents que nous venons de définir sont évidemment en relation, en ce sens que les deux sont le produit de la poussée disloquante venue du S.E. qui a provoqué le plissement du Jura. Mais il n'est pas possible d'affirmer que le décrochement de Châtollion soit uniquement la conséquence

du pli-faille, en le considérant comme la limite S.E. de ce dernier. Dans ce cas, il ne devrait affecter que des terrains qui se trouvent *au-dessus* du plan de glissement du pli-faille. La circonstance relevée plus haut que la pierre jaune qui se trouve *au-dessous* du plan du pli-faille, a été décrochée et placée à côté de l'Urgonien, montre bien que le décrochechement n'est pas uniquement une conséquence accessoire du pli-faille. Car il atteint aussi des couches qui se trouvent *au-dessous* de celui-ci. Chacun de ces deux accidents pouvait parfaitement se développer tout à fait indépendamment l'un de l'autre.

Il y a lieu de dire ici deux mots au sujet de la situation du pli de Châtollion en général et du caractère du synclinal de Voëns-Enges en particulier.

L'anticlinal accessoire de Châtollion présente dans son apparition quelque analogie avec le petit anticlinal du Kapf-Trämelfluh sur Douanne (lac de Bienne), et le synclinal de Voëns est, toute proportion gardée, l'homologue du petit vallon de Gaicht. A la Trämelfluh les couches sont également plus inclinées du côté intérieur que du côté du lac. Le synclinal de Gaicht est compliqué, à son entrée surtout, d'écrasements et de failles manifestes. Mais tandis que l'anticlinal de la Trämelfluh va en s'applanissant rapidement, en ne formant plus finalement qu'un épaulement, celui de Châtollion s'élève de plus en plus pour former, au-delà du ravin du Mort-Ruz, le chaînon du Rochoyer et, après une conversion vers le S.E., le grand anticlinal de la chaîne du lac, dont le flanc intérieur continue à être renversé ou peut-être chevauché par places le long du haut plateau synclinal de la montagne de Diesse, jusqu'au vallon du Jorat. Ce plateau est donc le développement du synclinal de Voëns.

Une autre différence très importante réside dans la comparaison détaillée du synclinal de Gaicht avec celui de Voëns-Enges. Le premier est certainement une cuvette étroite en forme de V; il s'ouvre au-dessus de Douanne en forme d'étroit couloir, la combe de la Cros. Mais le vallon de Voëns semble, au contraire, largement ouvert, bien que l'entrée étroite de la combe de la Goulette ne soit pas sans analogie avec l'étroit couloir de la Cros. Tout le village inférieur de Saint-Blaise est sur de la molasse aquitanienne, dont les marnes bariolées ont été mises à découvert bien des fois lors de la construction de bâtiments. Ce terrain s'élève même jusqu'au-dessus de la gare des C. F. F. La tranchée du chemin de fer y est entaillée jusque dans le voisinage du tunnel. Sous la moraine et le

terrain tufeux de la région de la Creuse et du cimetière, il y a certainement de l'Aquitanien. Ce dernier terrain a encore été mis à découvert lors de la fondation de plusieurs maisons en amont de la route conduisant de la gare des C. F. F. à la route de Voëns; les maisons en amont du chemin de fer sont probablement encore sur l'Aquitanien. Ce terrain s'introduit donc assez profondément dans le synclinal entre Châtollion et Chaumont (voir le profil I, fig. 16). Si ce synclinal paraît largement ouvert dans la région de Voëns et de Maley, bien que son entrée soit étroite à la combe de la Goulette, c'est qu'il y a deux éléments à distinguer. En premier lieu l'étroit synclinal de la Goulette, le long duquel naît le pli-faille de Châtollion et un deuxième synclinal, bien plus large, qui commence à se dessiner au N.W. du premier, à partir du Villaret, sur le large talus de pierre jaune et d'Urgovien qui s'abaisse vers le pied de Châtollion. Entre le Villaret et le ravin de la Goulette se voit fort bien l'anticlinal intermédiaire; la pierre jaune plongeant légèrement vers Chaumont laisse affleurer à son pied, près du contour de la route, la marne hauterivienne, tandis que plus bas les couches plongent de nouveau au S.E., dessinant le synclinal de la Goulette (voir profil II, fig. 17). L'Urgonien n'atteint pas Voëns, car il s'arrête déjà au-dessous du Villaret, dans le bassin de la Goulette. Les affleurements de pierre jaune des environs de Voëns permettent encore de constater les deux cuvettes synclinales, mais plus au N.E., dans la région de Maley, le développement énorme de la couverture morainique empêche toute observation. Ce n'est qu'à partir de Frochaux que l'on peut de nouveau reconnaître la structure du synclinal qui semble s'élever en forme d'étroit couloir vers le vallon d'Enges. Mais en réalité le Néocomien y occupe une assez grande largeur. Il résulte du plongement des couches observables, soit sur la grande route conduisant à Enges, où l'on suit sur une certaine longueur la pierre jaune plongeant au S.E. (45°), soit sur le sentier qui suit la dépression des marnes hauteriviennes dans la forêt de l'Eter, au N. de Frochaux, qu'il doit y avoir un anticlinal intermédiaire. Les observations qu'il est possible de faire dans le voisinage même du village d'Enges ne laissent subsister aucun doute à cet égard. Au-dessous du village ou voit nettement dans le Valangien inférieur une courbure anticlinale. Et un peu plus haut, de part et d'autre du village, on peut constater les deux synclinaux latéraux de Hauterivien, séparés par un anticlinal de Valangien (voir profil III, fig. 18). Au N.E. d'Enges, le développement des dépôts morainiques

empêche malheureusement de suivre le prolongement des allures de cet intéressant synclinal. Tandis qu'à Enges le pli-faille constaté à Châtollion n'existe certainement pas, la nouvelle édition de la carte géologique suisse 1 : 100000, feuille VII, en indique la réapparition au N.E. de ce village. Les observations de M. Félix Béguin conduisent à la même conclusion.

XLVI

Notes sur les gisements asphaltifères du Jura.

(avec un plan et un cliché)

I. Introduction.

Il n'est pas besoin d'insister ici tout spécialement sur le fait que les gisements de bitume exploités dans le Jura neuchâtelois, ainsi que les imprégnations d'asphalte plus ou moins concentrées qui se rencontrent dans diverses régions de cette partie du Jura, se trouvent presque exclusivement dans l'étage Urgonien ou Néocomien supérieur. Ce fait a été relevé dans de nombreuses publications. Il est vrai que dans deux localités du Jura on connaît la présence d'asphalte dans un niveau bien plus ancien, le Bathonien; nous en reparlerons en temps et lieu. Il ressort du profil géologique (pl. III) joint à cette note que le calcaire qui contient l'asphalte dans le Val-de-Travers, n'est en tout cas pas en continuation directe avec celui dont l'exploitation fut poursuivie pendant quelque temps près de Saint-Aubin, bien que les uns et les autres de ces gisements se trouvent dans le même étage géologique. Toutefois, au Val-de-Travers, l'asphalte imprègne exclusivement l'Urgonien supérieur et une partie de l'Aptien, ainsi que l'Albien inférieur, tandis qu'à Saint-Aubin il se trouve dans l'Urgonien inférieur et supérieur.

Cette non-continuité est due à deux circonstances. D'une part à l'érosion qui a enlevé sur la chaîne du Creux-du-Van-Chasseron la couverture néocomienne qui allait autrefois sous forme d'une calotte ininterrompue des Planes sur Travers (vallon des Ruillières) jusqu'au bord du lac de Neuchâtel. Puis une dislocation dans le sens d'un pli-faille, ayant conduit à un véritable chevauchement, fait que sur toute la longueur du flanc S.E. du Val-de-Travers le Jurassique supérieur, soit

le Portlandien, soit le Kimeridgien, vient se superposer sur le Tertiaire qui remplit le fond de ce synclinal. Le mouvement horizontal par lequel les couches supérieures du Jurassique sont venues se superposer sur les terrains tertiaires beaucoup plus récents, n'est certainement pas loin d'un kilomètre. Toute la série des terrains formant le flanc S.E. de la vallée a de ce chef été coupée par une fissure oblique s'enfonçant de 30 à 40° au S.E. presque transversalement aux couches, puis par la poussée horizontale qui a fait naître les chaînes de plissement du Jura, la partie la plus élevée a été poussée par-dessus la partie inférieure, faisant ainsi un cheminement d'environ un kilomètre. Au cours de ce mouvement s'est produit la singulière inflexion en forme de cuvette accessoire, à laquelle le vallon des Ruillières doit son existence. En se représentant d'après notre profil le mécanisme de la formation de cette dislocation, il est facile de se rendre compte de cet effet accessoire. Le palier des Ruillières coïncide précisément avec la région où le dit pli-faille a le plus fort rejet. C'est par l'effet de cette poussée horizontale que le fond de la cuvette brachy-synclinale du Val-de-Travers a été écrasé en formant en tout cas deux plissements accessoires, au lieu de conserver la forme d'une cuvette plane.

Si aujourd'hui la continuité n'existe plus entre les couches néocomiennes du Val-de-Travers et celles du bord du lac de Neuchâtel, il n'en est pas moins incontestable que cette continuité *devait exister antérieurement à la formation du pli-faille*, dont il vient d'être question et *avant que l'érosion ait démantelé la partie supérieure de la haute chaîne anticlinale* qui sépare ces deux régions. Si donc l'ancienne continuité du banc urgonien de l'une à l'autre est certaine, il n'en est pas de même pour la teneur en asphalte. On ne saurait donc formuler aucune conclusion, ni même une supposition à cet égard, attendu que le terrain en question n'y existe plus aujourd'hui et que les observations sur la répartition de l'asphalte dans le calcaire urgonien nous conduisent à deux conclusions très importantes :

1° *Que la teneur en asphalte est très inégale et varie dans la même région considérablement d'un endroit à l'autre et cela très brusquement.* On ne saurait donc conclure d'après la présence d'imprégnation bitumineuse dans deux endroits que la couche autrefois continue, mais aujourd'hui enlevée par l'érosion, ait aussi contenu de l'asphalte dans la région intermédiaire.

2° *Que l'asphalte qui forme au sein d'un calcaire poreux une imprégnation pouvant aller au maximum à 20 %, mais généra-*

ment bien moins, n'y a pas toujours existé. Le calcaire urgonien s'est formé primitivement comme calcaire poreux organogène blanc, composé de débris de coquilles, foraminifères, bryozoaires, coraux, etc., tous broyés par l'action des vagues sur le fond de la mer, naturellement à faible profondeur, puis entraînés par des courants et entassés en couche étendue par des courants marins. Dans ces conditions, la formation simultanée d'asphalte est absolument exclue et il faut conclure *que cette matière y a pénétré plus tard. L'asphalte de l'Urgonien est un gisement secondaire.* Il s'est produit dans un autre gisement, peut-être antérieurement peut-être postérieurement à l'époque urgonienne et a pénétré dans ce terrain grâce à sa porosité, probablement peu de temps après sa formation et avant que la roche ait atteint sa dureté complète. J'ai déjà développé ailleurs *(Bull. Soc. neuch. sc. nat.,* t. XXXIV, 1905-7, p. 311-313) les motifs qui imposent cette conclusion et qui ne sauraient échapper à l'observateur attentif. Je n'ai qu'à ajouter que la grande extension de l'imprégnation par imbibition qui pourrait paraître difficilement explicable de la part d'une matière aussi visqueuse et même tenace s'explique sans peine, si nous admettons, ce qui est maintenant un fait généralement connu et démontré, autant par l'observation que par l'expérience, que les asphaltes ont été primitivement bien plus fluides et qu'en réalité *ils ont tous été à l'origine des naphtes,* dont la mobilité est aussi parfaite que celle de l'eau. L'épaississement du naphte et sa transformation en asphalte visqueux, ou même en bitume solide et cassant, intervient soit par évaporation des composants volatiles, soit par oxydations des huiles fixes. On sait d'ailleurs que parmi les très nombreux gisements de naphte aujourd'hui en exploitation dans les diverses parties du monde, il en est beaucoup pour lesquels la nature secondaire a été reconnue. Le *terrain-mère,* dans lequel le naphte a pris naissance au cours d'un processus dont nous parlerons plus loin, a abandonné l'accumulation d'huile minérale, par des causes diverses, parmi lesquelles on peut mentionner *l'action des eaux souterraines et surtout les dislocations.* L'huile minérale a « émigré » et est venue s'accumuler dans un autre terrain et dans une région, souvent fort lointaine, où la pression était moindre et les conditions de séjour plus en rapport avec les forces moléculaires de ce liquide. L'émigration s'est faite parfois à travers d'étroites cheminées, comme aussi à travers les innombrables fissures des terrains disloqués, absolument en conformité avec ce qui se passe dans la circulation des eaux souterraines. A cela

s'ajoute encore pour les naphtes la tension des éléments gazeux qui s'y trouvent dissous, ce qui produit une circulation analogue à celle des eaux gazeuses, saturées d'acide carbonique, associé parfois d'hydrocarbures (salses). Une fois logé dans son nouveau gisement, le naphte peut fort bien conserver sa fluidité, s'il ne peut ni perdre ses composants volatiles ni s'oxyder. Mais contenu dans un terrain très poreux et au surplus au contact de l'air, il s'épaissit et devient asphalte, ce qui est généralement le cas dans le Jura.

Après ce préambule qui donne les éléments de la situation géologique des gisements d'asphalte de notre canton, ainsi que les relations qui se rattachent à la signification génétique de ceux-ci, nous pouvons aborder l'étude de chacune des deux régions, pour rechercher ensuite l'origine de cette matière à composition organique, bien que gisant dans un milieu inorganique minéral.

II. Gisements de Saint-Aubin et des bords du lac de Neuchâtel.

Il est bien probable que le gisement de Saint-Aubin a été connu bien antérieurement à la fondation de ce village, puisqu'on rencontre l'asphalte dans les ustensiles des lacustres du lac de Neuchâtel. A moins qu'il soit démontré que cette substance a été importée de loin, on est en droit d'admettre que ces premiers habitants des bords du lac ont réellement su extraire cette matière du calcaire asphaltifère de cette localité, ce qui devait pouvoir se pratiquer en chauffant la roche en vase clos.

Un projet d'exploitation de ces couches en 1857 a motivé de la part de MM. Desor et Kopp une étude géologique et technique (*Bull. neuch.*, IV, p. 358). Ils constatèrent sur l'emplacement choisi dans ce but que précédemment on avait déjà exploité de la pierre, sans qu'on pût déterminer que ce fût là l'endroit où exploitèrent les lacustres ou peut-être les Romains. Il n'existe pas de renseignements sur ce fait. On avait exploité trois bancs imprégnés de $0^m,80$, $0^m,90$ et $0^m,60$ d'épaisseur, recouverts de $0^m,80$ de calcaire fracturé contenant des traces d'imprégnation de bitume. L'exploitation nouvelle a été pratiquée, comme l'ancienne, en carrière à ciel ouvert. On a constaté en outre, au moyen d'un sondage, encore sept autres bancs contenant jusqu'à 3,9 % d'asphalte. La nouvelle industrie, qui ne prospéra guère, avait pour but la fabrication de tuyaux en carton bitumé et de mastic

d'asphalte. Elle disposa d'une concession de 1824 m² de surface. Mais moins de dix années plus tard elle fut abandonnée. L'exploitation ne porta que sur la zone comprise entre la route cantonale et la voie ferrée. On y voit fort bien encore l'excavation de la carrière, vis-à-vis de l'hôtel Pattus. (Voir le profil fig. 20.)

En dehors de cet emplacement, où les couches plongent au S.E. de 14° à 15° avec une direction de N. 50° E., on constate l'imprégnation d'asphalte plus ou moins abondante dans un rayon assez étendu autour de Saint-Aubin. Elle est la plus forte et la plus constante dans une région centrale qui s'appuye sur le bord du lac sur moins d'une centaine de mètres de part et d'autre de l'hôtel Pattus et qui s'élève jusqu'à la

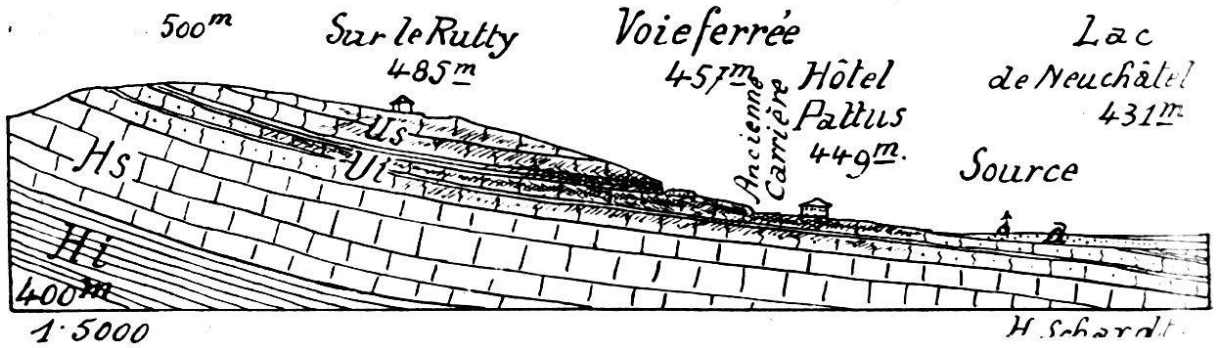


Fig. 20. Coupe géologique
à travers les gisements de calcaire asphaltifère de Saint-Aubin.

LÉGENDE :

A. Alluvions lacustres. *Hs.* Hauterivien supérieur.
Us. Urgonien supérieur. *Hi.* Hauterivien inférieur.
Ui. Urgonien inférieur.
La partie hachurée est asphaltifère.

voie ferrée ou un peu plus haut. On constate en particulier des places de forte imprégnation, mais irrégulière, dans la tranchée de la voie ferrée au-dessous du cimetière, dans des couches inclinées de 25°.

Dans la région de Sauges, l'imprégnation bitumineuse faible se montre encore de distance en distance. On en voit dans une ancienne carrière en amont de la maison d'école de Saint-Aubin, dans des couches qui plongent de 10° vers le S.E. Dans une carrière avant Sauges, on voit de l'imprégnation bitumineuse faible dans la couche du sommet, au-dessus d'un calcaire noduleux marneux, contenant des fossiles de l'Urgonien inférieur. Il semble donc que la région située au N. de l'hôtel Pattus constitue en quelque sorte un centre d'imprégnation, tandis que dans un certain rayon tout autour la richesse en asphalte va en se réduisant. C'est là un des

arguments les plus péremptoires contre l'hypothèse, mentionnée au début, d'une ancienne continuité de l'imprégnation de Saint-Aubin jusqu'au Val-de-Travers. Contre cette supposition on pourrait encore arguer que dans cette dernière localité c'est la *partie tout à fait supérieure de l'Urgonien* qui est imprégnée d'asphalte, tandis que les gisements de Saint-Aubin l'offrent surtout dans le niveau inférieur de l'Urgonien supérieur et d'une partie de l'Urgonien inférieur. Ce ne serait toutefois pas un argument contre la continuité, attendu que l'imprégnation qui est indépendante de la genèse et de l'âge de la roche qui la renferme, peut parfaitement s'être produite dans le Val-de-Travers dans les couches supérieures et à Saint-Aubin dans les couches inférieures, uniquement parce que ces terrains sont dans ces deux endroits des *calcaires poreux,* donc capables de s'imbiber. En effet, l'Urgonien inférieur des environs de Travers est un calcaire jaune non poreux, donc pas imprégnable. Il ne contient point d'asphalte, pas même dans ses craquelures. Tandis que l'Urgonien supérieur est au bord du lac parfois compact, sauf dans la partie inférieure, alors que l'inférieur est parfois très uniformément poreux. Ceci est particulièrement le cas dans une carrière au-dessus du village de Bevaix (carrière Gigy), où l'Urgonien supérieur ne forme qu'une très faible épaisseur de calcaire fracturé avec *Requienia Ammonia.* Les couches de l'Urgonien inférieur sont ici en partie coralligènes, et exploitées en assez grande épaisseur comme pierre de taille; en particulier un banc de calcaire à grain fin et homogène, uniformément poreux et se prêtant de ce chef admirablement au sciage et à la taille. Ce calcaire est sur une certaine épaisseur complètement imprégné d'asphalte, plus fortement semble-t-il qu'à Saint-Aubin. Il a été utilisé comme tel pour la construction, et comme la pierre asphaltifère prend à l'air une teinte grise assez agréable, on a même apprécié cette pierre tout spécialement, à cause de cette nuance due à sa teneur en asphalte. Non imprégnée, elle a une couleur gris-jaune très claire. Elle est nettement située au-dessous des calcaires marneux contenant la faune de la Russille (Urgonien inférieur), cependant ce n'est pas encore la pierre jaune (Hauterivien supérieur) car les mêmes fossiles se trouvent encore au-dessous.

Le même fait se présente encore près de Serrières, à côté du pont de la route cantonale. La couche calcaire sur laquelle se trouve le calcaire marneux à *Goniopygus peltatus* (marne de Russille), présente un grain très régulier et une porosité

uniforme. On y trouve de l'asphalte en imprégnation assez irrégulière, tantôt sur toute l'épaisseur, tantôt seulement en traînées, tantôt la roche en paraît seulement tigrée. Au-dessous du même escarpement qui borde la gorge de la Serrière, on a même constaté des imprégnations d'asphalte dans du calcaire poreux du Hauterivien supérieur. On pourrait déduire de cette circonstance que l'infiltration a progressé du haut en bas, fait sur lequel nous reviendrons plus loin.

Il y a des infiltrations asphaltiques dans l'Urgonien supérieur dans toute la région entre Auvernier et Serrières. Elles s'élèvent des bords du lac jusqu'à la hauteur de la gare de Corcelles, partout où se rencontre le placage de ce terrain qui est le plus élevé de la série néocomienne. On voit des infiltrations asphaltiques dans le calcaire urgonien supérieur des falaises qui dominent aujourd'hui la route suivant le bord du lac. C'est là surtout, ainsi qu'à Bevaix, que JACCARD[1] a cru trouver des arguments pour attester l'origine de l'asphalte par la décomposition de la matière organique des mollusques et des animaux des coraux, dont les restes fossiles se trouvent en grand nombre dans ces calcaires. Mais, ainsi que je l'ai montré, la place qu'avaient occupée ces animaux est précisément *privée* de bitume, formée par un remplissage pierreux, le moule, *tandis que la substance asphaltique occupe la place de la coquille*, qui fut résorbée après la fossilisation. Ces exemples montrent au contraire que l'imprégnation n'est venue occuper la place où elle se trouve aujourd'hui que longtemps après la fossilisation des animaux et la consolidation du calcaire; elle ne peut donc pas dériver des animaux, dont elle occupe la place de la coquille ou du polypier.

Les bords du lac de Neuchâtel nous montrent donc une imprégnation asphaltique en général faible et très irrégulièrement répandue. Elle est limitée exclusivement à des *calcaires poreux*, donc susceptibles de s'imprégner, qu'ils appartiennent à l'Urgonien supérieur ou inférieur, ou au Hauterivien supérieur, à ce dernier exceptionnellement. Les faciès compacts de l'Urgonien sont toujours privés de bitume, au moins dans cette région, qu'ils contiennent beaucoup ou peu de fossiles. Aux environs d'Orbe, de Valleyre-sous-Rance et au Mormont, dans le canton de Vaud, on a cependant souvent rencontré de l'asphalte visqueux dans des fissures et vacuoles du calcaire urgonien compact, de même aussi dans la région au S.

[1] *Biblioth. scient. internat.*, t. 81, « Le pétrole », etc., 1895. « Etudes géologiques sur l'asphalte et le bitume », *Bull. neuch.*, t. XVII, 1890. « L'origine de l'asphalte », etc., *Arch. des sc. phys. et nat.*, Genève, t. XXIII et XXIV, 1890.

de Gex, près de Thoiry et d'Allemagne. La présence de cristaux de calcite sur les parois des crevasses démontrent qu'ici de même la pénétration de l'asphalte est plus récente que la formation de la roche et les sécrétions de calcite. Celle-ci était déjà durcie et capable de se fissurer lorsque l'asphalte a pénétré dans les dites fissures.

III. Gisements du Val-de-Travers.

A titre historique, je rappelle brièvement que la présence de pierre asphaltifère dans la région du Val-de-Travers a été connue dès 1626, où elle fut mentionnée pour la première fois sous le nom de terre de poix (Hartz-Erde). Il s'agit sans doute d'un endroit près de Buttes, aujourd'hui inconnu, probablement recouvert. On découvrit ensuite le gisement du Bois-de-Croix, près de la combe Bayon sur Travers, exploité presque exclusivement jusque vers le milieu du XIXme siècle, soit jusqu'à son épuisement complet, bien que, déjà en 1801, Léopold de Buch ait reconnu la présence de la même couche sur la rive droite de l'Areuse, près de La Presta. Mais l'exploitation au Bois-de-Croix était plus facile, parce que la couche asphaltifère formait là un lambeau entièrement à découvert, pouvant être exploité en carrière, tandis que sur la rive opposée la couche est en affleurement étroit, plongeant au surplus vers l'intérieur de la montagne, recouverte en outre par des terrains argileux très délitables et éboulleux. L'épuisement du gisement du Bois-de-Croix, vers le milieu du dernier siècle et le transport de l'exploitation sur l'autre flanc de la vallée près de La Presta, fit reconnaître bientôt que l'exploitation ne pouvait se continuer qu'en souterrain. L'Etat de Neuchâtel s'étant attribué par une loi (19 juin 1867) la propriété des gisements d'asphalte du canton, fit explorer l'étendue de ceux-ci par des sondages, lesquels firent constater la très grande importance, en épaisseur comme en superficie, des couches asphaltifères sur la rive droite, au-dessous du plateau des Mossets, en amont de La Presta.

Par suite de vicissitudes tenant autant à l'organisation administrative et financière, aux méthodes de fabrication qu'aux difficultés d'exploitation, l'industrie des asphaltes du Val-de-Travers n'a pu de longtemps prendre un essor considérable jusqu'au moment où l'on découvrit la possibilité d'utiliser la roche brute, simplement broyée et comprimée, pour la confection des pavés et macadams asphaltiques. Au-

jourd'hui, cette industrie est des plus prospères et assurée d'un avenir certain, grâce à la bonne composition de la roche et à la grande étendue du gisement. Ce dernier est en effet un des plus remarquables du monde.

Géologie du gisement. — Ainsi que le montre le profil géologique, planche III, la couche asphaltifère de l'Urgonien supérieur s'enfonce sous les terrains tertiaires du flanc S.E. de la vallée; elle en est séparée toutefois par une certaine épaisseur de calcaires marneux appartenant à l'Aptien (couche à *Pterocera pelagi* et *Orbitolina lenticularis)*, de grès et d'argiles de l'Albien, formant la base du crétacique moyen. La partie supérieure de celui-ci, ainsi que la totalité du Crétacique supérieur, de même que l'Eocène et l'Oligocène inférieur font défaut. Pendant ce temps, cette région a été émergée et formait une terre ferme soumise à l'érosion atmosphérique. Le premier sédiment qui se place sur les terrains crétaciques est l'Aquitanien classé soit dans l'Oligocène supérieur soit à la base du Miocène. Il est formé surtout par des couches argileuses avec grès et calcaires d'eau douce dans le haut, sur lesquelles viennent se placer les marnes et grès du Burdigalien.

La couche imprégnée d'asphalte est ici exclusivement l'Urgonien supérieur qui présente dans toute cette région une composition très favorable à cet effet. Il est crayeux, à grain cependant assez grossier et de couleur blanc-jaunâtre, lorsqu'il n'y a pas d'asphalte. L'Urgonien inférieur, qui présente une assez grande épaisseur, est par contre privé de toute imprégnation, formé qu'il est de calcaires et de marno-calcaires jaunes nullement imprégnables et en grande épaisseur.

La couche d'Urgonien supérieur imprégnable atteint une dizaine de mètres d'épaisseur, mais l'imprégnation n'est pas distribuée également dans toute l'épaisseur. En général c'est la partie supérieure qui est la plus complètement imbibée, avec une moyenne qui n'est guère inférieure à 10 %. On exploite dans la règle toute roche qui contient plus de 7 % de bitume. Celle qui en contient moins, nommée crappe, forme au-dessus de la couche dite du « bon banc » une croûte que l'on abandonne comme toit. Le calcaire y est aussi bien plus grossier et moins susceptible de s'imprégner régulièrement. Elle forme en réalité le passage à l'Aptien, car on y trouve de très grands *Pterocera Pelagi* et des moules de *Cardium* de grandes dimensions. Dans certaines parties de la région d'imprégnation, il y a une couche d'imprégna-

tion concentrée à la base de l'Urgonien supérieur, localement même les deux zones d'imprégnation se superposent, séparées par un plancher de « crappe ». On cherche autant que possible à limiter la hauteur des souterrains à 4 m. et d'avoir de la crappe comme plafond et comme plancher, parce que la pierre fortement imprégnée n'est pas solide. Cette même circonstance nécessite aussi d'appliquer le système d'exploitation du « dépilage »[1].

Le centre de la région d'imprégnation se trouve presque exactement au S.E. de La Presta. Dès cette région vers le N.E. et vers le S.E. l'imprégnation tend à diminuer; dans cette dernière direction, elle passe dans la couche inférieure. Il n'est pas possible de dire, d'après l'état actuel de l'exploitation, si dans la direction de la montagne, soit à l'approche du pli-faille, l'imprégnation se réduit. Les exploitations se sont surtout développées parallèlement à la vallée. Elles se sont avancées à environ 500 m. vers l'intérieur et sur plus de 1200 m. dans le sens de la longueur. L'avancement vers le S.E. est difficile parce que les couches vont en descendant, ce qui nécessite l'épuisement d'environ 4000 litres d'eau par minute. On constate en outre que le plongement vers le S.E. qui est au début de 35° à 40°, s'arrête à une certaine profondeur, et fait place à un plongement inverse (bassin dit central), après quoi le plongement S.E. reprend, d'abord fortement et ensuite plus faiblement. C'est cette région qui forme le grand bassin. Mais la profondeur au-dessous du niveau de la vallée a pour effet d'y concentrer une très grande quantité d'eau, au fur et à mesure qu'on s'enfonce davantage. On voit donc que le gisement présente une importante ondulation et peut-être en s'enfonçant encore plus du côté de la montagne, d'autres irrégularités tectoniques impossibles à prévoir se présenteront encore. Ce seront probablement des ondulations comme celle qui sépare les deux bassins, ou des failles disposant la couche d'asphalte en gradins successifs.

L'imprégnation est dans la partie principale et centrale très uniforme et représente une teneur en asphalte de 10 à 16 %. Elle n'est pas influencée par les contournements de la couche; elle n'est pas plus forte au sommet de l'anticlinal central que dans le fond des deux bassins. Il serait intéres-

[1] L'exploitation se fait par des galeries de traçage de 3 m. de largeur dirigées à angle droit à 30 m. de distance d'axe à axe. Les piliers intermédiaires ayant 27 m. sont ensuite entourés de maçonnerie de trois côtés, puis exploités et le vide comblé de remblais, et ce dernier fermé aussi du quatrième côté. Ceci afin d'empêcher les affaissements des plafonds.

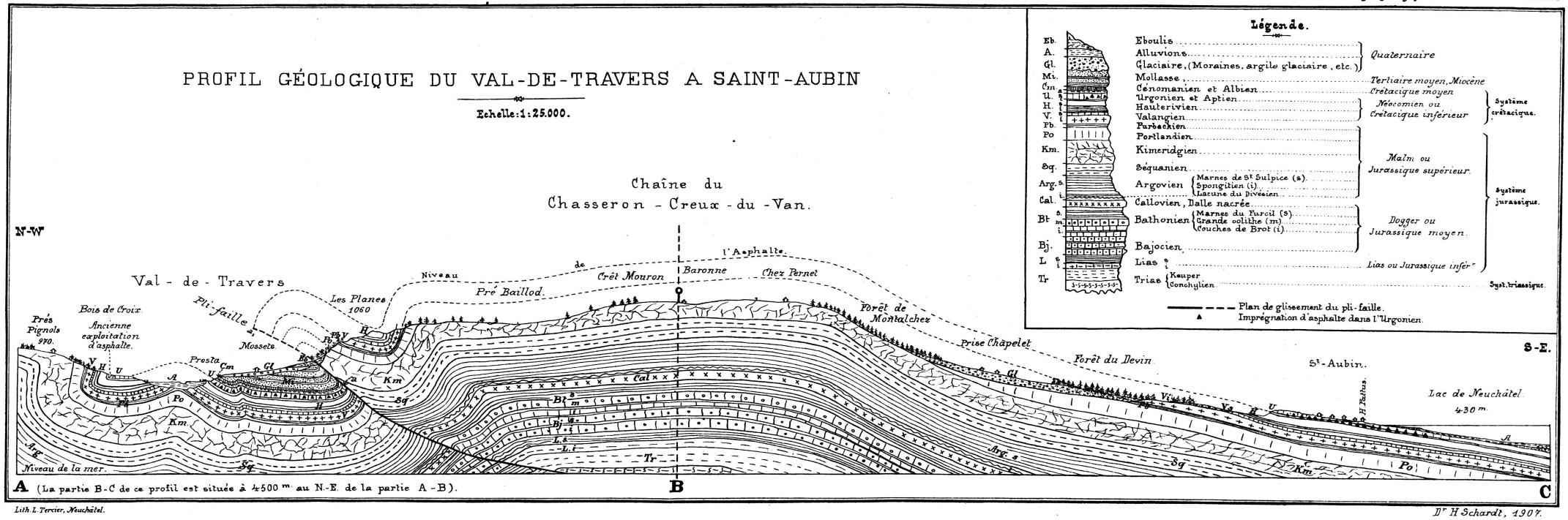
sant pour la genèse de ce gisement de savoir dans quelle mesure la richesse de l'imprégnation se modifie dans la direction du S.E., à l'approche de la grande faille de chevauchement. Les chantiers les plus enfoncés sont encore à 700 m. environ de cet accident et cette distance se trouve en grande partie au-dessous de la zone de chevauchement. La progression des travaux souterrains, et éventuellement des sondages, pourront nous fournir des renseignements sur ce problème.

Dans le sens parallèle à la vallée, l'imprégnation doit nécessairement s'affaiblir graduellement dans la direction du N.E., puisque déjà au Crêt-à-Blanc, près du pont de l'Areuse, on a exploité le calcaire urgonien sous forme d'une pierre parfaitement blanche et privée de toute imprégnation asphaltique. Au-dessous des Lacherelles, Chez-Montandon, la carrière Molini a été ouverte dans un banc également privé d'asphalte. C'est comme au Crêt-à-Blanc, la partie supérieure du calcaire à *Requienia* correspondant au banc supérieur d'asphalte. Il est recouvert d'environ 1 m. de crappe, calcaire fracturé avec grands *Ptérocères* et moules de *Cardium,* offrant une très faible imprégnation. Cependant, au-dessus du Vanel, sur le chemin des Œillons, on constate encore un affleurement de calcaire urgonien poreux avec imprégnation d'asphalte. On n'y a pas fait de recherches jusqu'ici.

Les affleurements d'Urgonien sont malheureusement rares, parce que ce n'est que le bord de l'assise qui vient au jour, et ce bord est le plus souvent recouvert par des glissements détachés des couches argileuses de l'Albien et surtout du Tertiaire qui la surmonte. Cela est particulièrement le cas au S.W. de La Presta, dans la direction de Couvet. Le seul indice que nous possédons sur la continuité de la couche asphaltifère dans cette direction est le fait que la tranchée du chemin de fer régional a entamé l'Urgonien asphaltifère. Mais il est impossible de savoir dans quel état d'imprégnation se trouve la région intermédiaire entre ce point et les exploitations actuelles, ni comment se comporte la teneur en asphalte au S.W. de Couvet, jusqu'à Buttes, où, dit-on, la première découverte de l'asphalte aurait été faite. Il est réservé à des explorations au moyen de sondages d'établir l'extension du champ d'imprégnation, dans l'intérêt même de l'industrie que cette matière alimente. Il n'est pas moins vrai que si l'imprégnation paraît se continuer sur une plus grande distance dans la direction du S.W., elle est forcément liée à la continuité de la couche urgonienne imprégnable. Comme sur toute la longueur entre Couvet et Buttes l'Urgo-

PROFIL GÉOLOGIQUE DU VAL-DE-TRAVERS A SAINT-AUBIN

Echelle: 1:25.000.



nien n'affleure nulle part, il est impossible de savoir si la roche est imprégnable et si dans ce cas l'imprégnation existe réellement. Le seul fait de la découverte, il y a presque quatre siècles, de la fameuse « terre de poix » dans un jardin de Buttes, ne justifie aucunement l'hypothèse de la continuité de l'imprégnation sur toute cette longueur de près de 8 km. Il est certain d'ailleurs que si la roche asphaltifère existe au S.W. de Couvet, elle se trouverait sur la plus grande longueur au-dessous du niveau de la vallée et la constatation de sa présence ne pourrait se faire que par des sondages.

A partir de Buttes, vers le S.W., le synclinal du Val-de-Travers s'élève et devient le plateau de La Côte-aux-Fées. Mais la couche urgonienne manque totalement, par suite d'érosion, et avec elle naturellement aussi l'asphalte. Dans le vallon synclinal de Noirvaux, continuation de la partie S.E. du Val-de-Travers, soit précisément celle qui recèle le gisement d'asphalte, on n'a jusqu'ici pas trouvé trace d'asphalte. D'ailleurs dans la partie entre Buttes et Noirvaux-Dessous, ce synclinal est réduit à l'état d'un simple épaulement, bien que toujours accompagné de marnes et de grès tertiaires, donc semble-t-il aussi d'Urgonien. Toutefois ce dernier pourrait bien manquer, puisque, près de Noirvaux-Dessous, on voit le contact du Tertiaire et du Portlandien. L'émersion crétacique supérieure et tertiaire ancienne a ici probablement fait disparaître une partie du Néocomien avant la sédimentation de l'Aquitanien. Plus au S.W., dans le bassin de l'*Auberson*, où l'Urgonien en grande épaisseur existe au-dessous des couches de la Molasse d'eau douce et marine, il est composé de calcaires compacts non imprégnables, donc sans asphalte. On ne connaît pas non plus d'asphalte dans des fissures de ce terrain. On m'a signalé, par contre, des remplissages d'asphalte visqueux dans des fissures de l'Urgonien de la région du lac de Saint-Point.

IV. Gisements d'asphalte dans d'autres parties du Jura.

En dehors du Val-de-Travers, on ne connaît pas de gisements asphaltifères dans la direction du N.E., où d'ailleurs l'Urgonien poreux fait le plus souvent défaut; il n'en est pas de même dans la région qui prolonge le Jura vers le S.W. Là, nous trouvons un premier gisement dans la *Vallée de la Valserine,* à Forrens près Chezery, dans des conditions quasi identiques à celles du Val-de-Travers. Des couches urgo-

miennes formées de calcaires poreux imprégnés de bitume s'enfoncent dans la direction d'un important pli-faille qui fait se superposer les terrains jurassiques sur le Tertiaire remplissant un synclinal. La seule différence réside dans le plus fort plongement des couches et dans la moindre extension de la partie poreuse imprégnable du calcaire, donc de l'imprégnation elle-même. Le gisement en question a été exploité activement, il y a une vingtaine d'années, par la société de Seyssel, mais il est abandonné aujourd'hui. Plus importants sont les gisements qui occupent le *bassin de Bellegarde* au N. de Seyssel, près de *Pyrimont,* gisements qui sont exploités encore actuellement très activement par la dite société.

Ils présentent, vis-à-vis de ceux du Val-de-Travers, plusieurs différences. Tout d'abord l'étage Urgonien supérieur y est beaucoup plus épais et offre des alternances de calcaires poreux et compacts. Il y a conséquemment plusieurs couches asphaltiphères qu'on exploite en autant d'étages. Il y en a jusqu'à huit, répartis sur environ 50 m. de hauteur. Le Tertiaire repose directement sur l'Urgonien et les couches les plus inférieures du Tertiaire sont également imprégnées par places. Le gisement a été exploité sur les deux rives du Rhône, soit à *Pyrimont* (rive droite), soit à *Challonge* (rive gauche). C'est de ce côté que se trouve aujourd'hui l'exploitation la plus active. On y voit entre autres une discordance, par laquelle les couches du Tertiaire viennent butter contre les bancs de l'Urgonien. Il est également manifeste par le caractère même des terrains de la base de la série tertiaire (poudingues aquitaniens surmontés de sable et de marnes bariolées) que ces terrains se sont déposés sur une surface déjà ravinée (érosion supra-crétacique et éocénique), tout comme au Val-de-Travers, avec la différence qu'ici l'Aptien et l'Albien n'ont pas été enlevés, tandis qu'ils manquent près de Pyrimont. Mais il y a plus: le poudingue aquitanien descend jusqu'à 40 m. au-dessous du niveau de la rivière et occupe manifestement un ancien canyon ou gorge d'érosion creusée antérieurement au dépôt du Tertiaire. Ce gisement a fourni en outre une donnée importante sur l'âge de l'imprégnation du bitume dans l'Urgonien. Parmi les galets qui composent le poudingue aquitanien, il en est qui proviennent de l'Urgonien asphaltifère, tandis que le ciment n'est pas imprégné: donc l'imprégnation est antérieure à l'époque aquitanienne, antérieure sans doute aussi à l'époque éocénique qui était une phase continentale pour cette région. On retrouve par contre de l'imprégnation naphtique ou asphaltique dans les sables

aquitaniens qui viennent butter contre l'Urgonien ou sont superposés à celui-ci, en dehors de la zone des poudingues. Cette dernière imprégnation résulte apparemment d'un emprunt fait à l'imprégnation urgonienne! C'est donc une imprégnation « tertiaire », si, comme nous le pensons, celui de l'Urgonien est « secondaire ». Nous y reviendrons en discutant l'époque de la formation des gisements d'asphalte du Jura. Il en est peut-être de même de l'asphalte qui imprègne des sables aquitaniens dans le vallon synclinal de la Mantière, près de Bôge, entre Bellegarde et Chésery, par rapport à l'Urgonien asphaltifère de Forrens, car le calcaire urgonien qui est au-dessous de cette molasse de la Mantière n'est pas imprégné, étant de nature compacte.

Dans la *partie méridionale du bassin de Bellegarde*, près de la terminaison du chaînon de la Balme de Silingy, prolongement lointain de l'anticlinal du Salève, de part et d'autre des gorges que s'est taillées le Fier dans ce bombement urgonien, ce terrain renferme plusieurs niveaux asphaltifères formant des zones d'imprégnation superposées, tout comme à Pyrimont-Challonge. Mais l'imprégnation n'est pas aussi concentrée que dans ce dernier gisement, lequel reste à son tour en arrière sur celui du Val-de-Travers. La teneur en asphalte y est de 3 à 5 % en moyenne, bien que certaines places soient à tel point riches que l'asphalte suinte à l'extérieur. Attaqués déjà au commencement du XIXme siècle, presque en même temps que ceux de Seyssel, ces gisements des gorges du Fier ont été abandonnés pendant longtemps. Mais depuis une dizaine d'années, la faculté de pouvoir utiliser des roches pauvres en leur ajoutant, après broyage, du bitume pur importé, a fait reprendre les exploitations sur toute la ligne, soit du côté de *Lovagny* (rive droite), soit du côté de *Chavanod* (rive gauche); quatre entreprises y travaillent actuellement.

Ces gisements sont les plus méridionaux connus dans la région du Jura et ils montrent que c'est toujours dans l'Urgonien que se trouve cantonnée l'imprégnation asphaltique, sauf les gisements aquitaniens de la Mantière et de Pyrimont-Challonge, qu'on peut considérer comme dérivés de gisements urgoniens sous-jacents ou voisins.

A ce titre, je ne puis passer sous silence la présence d'imprégnation de naphte dans des sables tertiaires aquitaniens ou burdigaliens, aux environs de *Dardagny* (canton de Genève) et près de *Chavornay* et *Orbe* (Vaud). Dans la première région, des couches de sable aquitaniens sont si fortement imbibées d'huile minérale que celle-ci suinte littéralement à la surface

ou s'accumule en été sur des flaques d'eau le long du ruisseau du Roulavaz, dont le lit est entaillé dans ces couches. Un gisement aussi riche en apparence ne pouvait pas passer inaperçu. Aussi, des tentatives d'exploitation ont eu lieu à plusieurs reprises, mais sans succès, vu l'inégalité de l'imprégnation. Dans la Molasse aquitanienne vaudoise, la situation est encore plus défavorable, car il ne s'agit que de simples taches imprégnées qui se trouvent disséminées, par-ci par-là, dans quelque banc de grès à la base de la formation aquitanienne. On se demande involontairement si ces gisements ne sont pas aussi dérivés d'une imprégnation existant dans l'Urgonien sous-jacent, ainsi qu'il m'a paru être le cas de l'imprégnation des grès aquitaniens de Pyrimont-Challonge. Le calcaire urgonien n'étant pas à découvert dans le voisinage immédiat, il n'est pas possible de formuler des conclusions. Il y a lieu toutefois de relever que le long du pied du Jura voisin, où l'Urgonien est un calcaire compact, ce dernier contient de l'asphalte dans des fissures. Sur le flanc S.E. du *Mont-Mussy,* près Divonne, il y a, au sommet de l'Urgonien, une couche de calcaire poreux offrant une faible imprégnation d'asphalte. Ces indices sont-ils suffisants pour rattacher le naphte de l'Aquitanien à une seconde émigration de celui contenu dans l'Urgonien? Et s'il en est vraiment ainsi, cette émigration s'est-elle accomplie de bas en haut à travers les couches assez épaisses qui séparent les dits gisements de l'Urgonien; ou bien cette immigration s'est-elle faite latéralement, par infiltration horizontale d'un affleurement urgonien aujourd'hui en bonne partie enlevé par l'érosion? C'est au pied du Jura qu'il faudrait chercher le contact, dans cette dernière alternative, puisque l'asphalte y existe dans des crevasses du calcaire urgonien. Pour Chavornay-Orbe, la chose est encore plus simple, les affleurements urgoniens qui existent réellement à une faible distance dans le voisinage, offrent également des crevasses contenant *de l'asphalte* (Valleyres-sous-Rances, Mormont).

Cette revue de la situation géologique, stratigraphique et lithologique des gisements d'asphalte du Jura nous montre cette matière concentrée dans un calcaire poreux d'âge urgonien; les gisements tertiaires paraissent pouvoir être rattachés à ces derniers par émigration à l'époque où l'asphalte était encore à l'état de naphte. Pour rechercher la provenance de cette substance qui n'est pas davantage née dans le calcaire urgonien, ainsi qu'il a été dit plus haut, nous n'aurions donc qu'à rechercher dans quel laboratoire de la nature a pu prendre

naissance le naphte primitif et comment, de ce lieu d'élaboration, il a pu parvenir dans ces calcaires poreux de l'Urgonien et ensuite dans les grès tertiaires. A propos de ces derniers, il faut relever que contrairement à ce que pensait Jaccard, lorsqu'il préconisait des sondages dans les environs d'Orbe, il n'y a aucune analogie avec les gisements d'Alsace (Pechelbronn) qui se trouvent dans des couches tertiaires appartenant à tout un autre fasciès, bien que peut-être d'un âge rapprochant de celles du pied du Jura. Les grès à naphte d'Orbe et de Dardagny sont des formations d'eau douce de faible profondeur dans lesquelles l'élaboration primaire du naphte est impossible. Il n'est d'autre part pas certain non plus que les gisements de Pechelbronn et de Lobsann, qui sont également des formations d'eau douce, soient des gisements primaires; mais il y a une différence essentielle, c'est la proximité des grandes failles qui délimitent près de Pechelbronn et Lobsann le bord du massif des Vosges. Elles mettent en contact les couches tertiaires avec des terrains bien plus anciens, notamment les couches salifères du Trias.

A ce titre, et avant d'examiner la provenance de l'asphalte du Jura, je dois mentionner encore un fait bien connu, mais qui n'a pas été jugé peut-être jusqu'ici à sa juste importance: c'est la présence dans le Jura de bitume dans des fissures traversant des terrains plus anciens que l'Urgonien.

J'ai constaté, il y a longtemps déjà, la présence de bitume dans des fissures du calcaire hauterivien au *Mont de Chamblon*, exploité dans plusieurs carrières à l'extrémité N. de cette colline, à proximité d'Yverdon. Dans les carrières de pierre à ciment du Bathonien (couches du Furcil) exploitées près de *Noiraigue*, Jaccard cite des filons de bitume occupant des fissures traversant la dite roche. J'en ai vu moi-même et la collection de l'Université de Neuchâtel en renferme des échantillons provenant de la collection Jaccard. Mais la localité la plus remarquable est celle des *Epoisats*, au-dessus de *Vallorbe*, au pied de la Dent de Vaulion. Une grande crevasse traversant des marnes et des calcaires du Bathonien est remplie d'une brèche formée par un agglomérat de débris de ces roches, réunis par du bitume plus ou moins consistant. Il est difficile de s'expliquer la provenance de ce bitume dans une telle situation qui rappelle bien les remplissages d'asphalte dans des crevasses de l'Urgonien, dont il a été fait mention. La seule chose certaine est *que cette matière ne peut en aucun cas provenir de la roche ambiante* qui n'en contient trace, mais qu'elle doit avoir pénétré dans ces fissures, venant soit d'en

haut, soit d'en bas. Le gisement des Epoisats occupe une véritable faille, très large et certainement très profonde. Il a donné lieu jadis à une tentative d'exploitation. On voit encore la tranchée qui a été creusée dans ce but.

V. Origine de l'asphalte du Jura.

Cette question n'est pas limitée à l'asphalte du Jura seul, mais bien à celle de l'origine des matières asphaltiques et du naphte qui en est le point de départ, en général. Ce qui est vrai pour une région s'applique forcément aussi à d'autres, peut-être pas exclusivement, mais en tout cas bien souvent. Cette restriction est nécessaire, parce que la formation du naphte n'a encore guère été observée directement dans la nature; puis, réduits que nous sommes à expliquer sa formation par des conjectures, d'ailleurs sérieusement appuyées par de nombreuses observations, les explications ont suivi des voies assez divergentes, autant quant à la genèse de l'huile minérale elle-même, qu'au sujet de ses migrations. J'exposerai ci-dessous les résultats auxquels on est arrivé actuellement dans l'élucidation de cette question, tout en déclarant que la vraie solution ne ressortira pas nécessairement de l'approfondissement exclusif de l'une ou de l'autre des théories et de son application à tous les cas qui peuvent se présenter, parce que j'admets, *a priori,* que le naphte peut naître de différentes manières dans le laboratoire de la nature. Un examen serré et approfondi de chaque gisement permettra de déterminer à quelle origine il faut attribuer chacun d'eux, pour autant que cette solution est matériellement possible.

La majorité des auteurs qui se sont occupés de cette question ont opiné en faveur de *l'origine organique* de la plupart, sinon de tous les gisements de bitume ou de naphte. Cette idée devait même s'imposer pour ainsi dire, puisque les gisements exploités se trouvent presque tous dans des sédiments, tant marins que limnaux, lesquels se sont formés au milieu d'une vie organique souvent très intense. Mais depuis qu'il a été constaté que de très nombreux de ces gisements et parmi eux de très importants, sont dus à des immigrations de naphte par imbibition, après un transport peut être fort lointain, la possibilité de l'apport de ces substances de l'intérieur même de la terre, à travers des fissures, a de nouveau été sérieusement prise en considération et a gagné de nombreux partisans. Cette théorie a tout récemment trouvé un

fort appui par les constatations de M. le Dr A. Brun, de la présence d'hydrocarbures dans les laves vitreuses, alors que les roches volcaniques cristallisées n'en contiennent pas.

Au point de vue de l'origine génétique du naphte, nous pouvons donc admettre :

1. ***Origine intratellurique,*** appelée souvent à tort volcanique, ce qui pourrait faire penser que les éruptions volcaniques sont accompagnées d'émission de pétrole ou des gaz qui accompagnent celui-ci. Il s'agit en réalité d'hydrocarbures qui se trouvent dissous dans les magmas intratelluriques, soit qu'ils y ont existé de tout temps, soit qu'ils ont été élaborés par des réactions diverses que je ne puis détailler ici, mais dont la possibilité a été démontrée expérimentalement[1]. Humboldt admettait déjà, en 1804, que « le pétrole est un produit de la distillation qui a lieu à une immense profondeur et qu'il provient des roches primitives, sous lesquelles gisent les forces de toute action volcanique ».

Cette hypothèse expliquerait parfaitement la présence de substances bitumineuses dans les filons de roches éruptives, porphyres, pégmatites, etc., ainsi que dans des gneiss primitifs. La présence de graphite dans nombre de roches cristallines primitives ou volcaniques est un autre fait qui doit être mis en relation avec la présence d'hydrocarbure dans le magma intratellurique. Enfin, le rôle joué par des émanations hydrocarburées et d'autres combinaisons gazeuses dans l'élaboration des minerais filoniens qui se sont produits sous l'action d'agents réducteurs, devient un vrai trait de lumière pour la compréhension de la « phase pneumatolitique » qui a dû accompagner la cristallisation des roches batholitiques, depuis que nous savons, par les expériences de Brun[2], que ces éléments gazeux que contient le magma fondu ou vitreux, doivent s'échapper au cours de la cristallisation. Le bitume de la Trinité s'échappe du fond d'un lac cratérien, c'est là un fait bien significatif.

Nous devons donc admettre pour une partie des naphtes et bitumes une origine intratellurique. Mais il n'est pas pos-

[1] P. de Wilde. « Sur l'origine du pétrole et de ses dérivés ». *Archives Genève,* t. XXIII, p. 558, 1907.

[2] Les prémices des recherches du savant genevois ont paru sous forme de notes isolées dans les *Archives des sciences de Genève,* années 1902, 1904, 1908, 1909 et 1910, puis résumées dans la *Revue générale des sciences,* 30 janvier 1910. Elles seront développées dans un mémoire synthétique — « Recherches sur l'exhalaison volcanique » — en voie de publication. (Librairie Kündig, Genève.)

sible pour le moment d'en évaluer l'importance ou d'en déterminer la proportion. Si dans le voisinage de gîtes de naphte secondaires, il existe des cheminées d'éruption volcanique, on pourra toujours invoquer l'origine intratellurique, sans qu'il soit possible de formuler une opposition, à moins de pouvoir démontrer d'une manière positive que ces gîtes sont primaires, ce dont il sera question dans ce qui suit.

2. ***Origine organique et sédimentaire.*** — Cette origine peut être végétale ou animale.

a) Les gîtes de pétrole, dus à la décomposition de *matières végétales,* doivent être liés aux dépôts de combustibles minéraux et leur existence se dégage tout naturellement du fait que la matière végétale, en se transformant en lignite, houille ou anthracite, doit se débarrasser de combinaisons hydrocarburées gazeuses ou volatiles liquides. La présence constante de gaz grisou dans le voisinage des gîtes de charbon minéral en est une preuve. On attribue cette origine à certains gisements pétrolifères de la Pensylvanie, sinon à tous. Le pétrole végétal est donc toujours en gisement secondaire, et dérivé de gîtes de combustibles minéraux par émigration de ceux-ci au cours de leur formation ou plus tard.

b) L'*origine animale* doit être attribuée à la plupart des gîtes d'huile minérale et de bitume qui se trouvent en gisement primaire dans des formations marines et aussi d'eau douce. C'est le cas en particulier de la matière bitumineuse ou huileuse qui se trouve en imprégnation légère, de quelques fractions de pour cent seulement, dans un très grand nombre de formations sédimentaires et qui n'ont pas même l'aspect d'être bitumineux; mais la teneur en bitume se trahit par l'odeur fétide qu'elles dégagent au frottement ou au choc du marteau, soit aussi lorsqu'on les chauffe. Quelquefois la quantité de naphte est assez forte pour produire une couleur foncée passablement prononcée, sans que pourtant l'huile minérale parvient à suinter naturellement.

Ces sédiments, tant marins que d'eau douce, reçoivent leur teneur en bitume de la décomposition des animaux (en partie certainement aussi des plantes) qui ont vécu dans leur milieu de sédimentation. Les schistes à naphte, les marnes et schistes liasiques, les calcaires fétides (au choc) de tout âge en sont les meilleurs exemples. Pour ce qui concerne les calcaires limnaux, dont la fétidité est un des caractères frappants et presque constants, il faut voir dans le « plancton »

animal et végétal, qui se sédimente constamment avec le précipité calcaire, la source de cette teneur en bitume. Je mentionne à cette occasion que le sédiment crayeux qui se dépose sur le fond du lac de Neuchâtel, et qui contient 70 à 85 % de carbonate de chaux, noircit fortement lorsqu'on le chauffe, en répandant une odeur caractéristique et devient parfaitement blanc après calcination. Les calcaires d'eau douce fétides de l'Aquitanien et de l'Oeningien, qui sont des craies lacustres durcies, ont la même propriété.

Si d'après ce qui précède nous pouvons expliquer d'une manière plausible les *faibles quantités* de bitume des sédiments en question, en admettant que la matière organique, au lieu de se détruire par putréfaction, s'est transformée en bitume, grâce à son inclusion en fine division dans un limon peu perméable et à l'abri de l'action de l'oxygène, il ne peut être question d'expliquer de cette manière les formidables accumulations d'huile minérale qui constituent les gisements pétrolifères de Bakou, de la Roumanie, de la Galicie, etc., ni la formation de l'asphalte du Jura dont la genèse nous intéresse tout spécialement. Ici, il faut faire intervenir des conditions spéciales, abstraction faite de la faculté de « migration » que le naphte possède à un si haut degré. La destruction subite d'une faune, même la plus abondante, ne suffirait pas à fournir la millième partie de la matière organique nécessaire à constituer un de ces gîtes des plus modestes. Or, les gîtes de naphte sont dans bien des régions d'une richesse inappréciable, si bien qu'on peut affirmer qu'ils dépassent de beaucoup l'importance des gisements de houille, et que lorsque ceux-ci seront épuisés, il restera encore l'huile minérale pour chauffer les machines à vapeur et les appartements. Il faut que l'influence qui a donné naissance à de telles accumulations, ait agi uniformément et continuellement pendant un temps très long, dans des conditions telles que la matière organique n'ait pas pu se détruire par putréfaction au fur et à mesure de son dépôt. Les gisements secondaires comme ceux du Jura sont impropres à fournir la clef de l'énigme, on pourrait tout aussi bien leur attribuer une origine intratellurique, en prenant à notre secours le voisinage de failles.

Innombrables sont les publications qui ont trait à l'origine des bitumes, huiles minérales, etc. Le plus important est sans doute le grand traité du professeur H. Höfer[1], dans lequel

[1] H. Höfer. « Die Geologie, Gewinnung und Transport des Erdöls », Leipzig, 1909.

sont décrits les gisements connus du monde entier. L'auteur discute ensuite les hypothèses expliquant l'origine de ces matières en se montrant favorable à l'origine organogène. Ce problème a fait un progrès considérable ensuite des travaux de POTONIÉ[1] qui fait dériver le naphte du « sapropel » — soit d'un précipité de matière organique, sous forme de vase ou émulsion essentiellement organique.

Ce sont les gisements roumains qui sont actuellement parmi les mieux connus, et nous devons à M. MRAZEC[2] et à ses collaborateurs des données extrêmement importantes sur ce problème, si bien que la question peut être aujourd'hui posée d'une manière nette et, semble-t-il, définitive. Le récent congrès du pétrole, tenu en Roumanie en 1907, a été l'occasion de publications importantes sur ces gisements, d'autres ont suivi. Il ne m'est pas possible, dans cette courte note, de les énumérer tous. Il en résulte que le pétrole roumain, pour ne parler que de cette région, est certainement d'origine organique, donc sédimentaire. Ses gisements sont répartis sur un grand nombre de terrains, allant du Crétacique supérieur jusqu'au Pliocène supérieur. Ils sont pour la plupart des gisements secondaires, à l'exception d'un seul niveau qui est celui de la « roche mère », soit celle au sein de laquelle s'est élaborée à l'époque de sa formation ou peu après, l'huile minérale. Ce terrain est la *formation salifère* qui va du sommet de l'Oligocène jusqu'au sommet du Tortonien (âge de la Molasse suisse). Cette formation s'est accomplie dans des lagunes d'eau sursalée et il est dès lors facile de comprendre comment d'innombrables organismes, parmi lesquels le « plancton » ne représentait pas le moindre volume, pouvaient arriver sans interruption dans la zone sursalée du fond, soit dans un milieu qui tue les organismes et dans lequel la putréfaction est impossible. Peut-être qu'en même temps la présence de certains sels alcalins produisant une émulsion des matières grasses, pouvait précipiter celles-ci, pendant que la matière organique dissoute dans l'eau pouvait être précipitée de même par les matières argileuses et limoneuses qui ont, comme on sait, la tendance à produire cet effet. De cette manière pouvait se former sur le fond de ces lagunes soit une *vase organique* bituminisable, le sapropel, ou un véritable *précipité organique plus ou moins saponifié,* qui pouvait, vu l'absence de l'air et vu

[1] H. POTONIÉ. *Die Entstehung der Steinkohle und der Kaustobiolithe überhaupt.* Berlin, Gebr. Bornträger 1910 (Vme édition).

[2] M. MRAZEC. « L'industrie du pétrole en Roumanie ». « Les gisements de pétrole », Bucarest, 1910.

son état d'association ou de combinaison, se transformer en naphte, au lieu de se détruire par putréfaction (oxydation). La continuité de ce phénomène assure à l'accumulation d'huile minérale un accroissement, dont la limite n'est donnée que par la fin de la phase continentale lagunaire de la région.

Cette hypothèse est confirmée par la constatation de la présence presque constante d'hydrocarbures gazeux dans le sel gemme et par le voisinage invariable de gîtes de pétrole et de gisement de sel gemme, les premiers formant comme une auréole autour de ces derniers, tandis que les couches renfermant le sel, soit les roches mères du pétrole, en sont aujourd'hui presque dépourvues. Ceci est attribuable au fait que déposé en accumulation au fond de l'eau, sous forme d'une vase naphtique ou asphaltique, cette matière ne pouvait guère se comporter comme les autres sédiments, mais elle devait s'écouler dès la dessication et l'émersion du fond des lagunes et surtout au cours des dislocations, dont l'effort devait agir sur ces formations semifluides comme un immense pressoir. *La migration est conséquemment presque une nécessité pour le naphte*, jusqu'au moment où il rencontre un terrain imprégnable, qui l'absorbe à tel point que la résistance du terrain poreux lui-même ne permet plus guère, ni à la pression, ni à l'action de l'eau souterraine, de l'en déloger. La migration doit s'arrêter également lorsque, par évaporation des parties volatiles et par oxydation, le naphte est devenu lui-même visqueux ou presque solide. C'est le cas pour l'asphalte et le bitume solide. Enfin, l'enfoncement graduel des sédiments au cours de leur superposition, ou de recouvrements par dislocation, peut amener les couches dans un niveau à température souterraine suffisamment élevée pour que la fusion du bitume déjà consolidé en soit la conséquence et provoque sa migration.

L'application de ce qui précède à nos gisements du Jura ne doit pas, de prime abord, paraître bien difficile. Toutefois, nos observations précédemment relatées, nous ont conduit à voir dans ceux-ci des gisements secondaires ou même tertiaires, c'est-à-dire que le naphte, forme primordiale du bitume, a pris naissance dans un autre terrain et a immigré dans l'Urgonien et de celui-ci dans la Molasse. On sait que le naphte du Hanovre, celui de Pechelbronn et de Lobsann en Alsace peuvent être reliés sans difficulté au terrain salifère du Trias moyen (argile salifère du Conchylien) qui contient des traces de bitume un peu partout, tandis que le grès bigarré sous-jacent n'en contient pas. La provenance intra-

tellurique est conséquemment exclue, bien que la profondeur jusqu'à laquelle vont certainement les grandes failles qui délimitent la vallée du Rhin et la présence du volcan tertiaire du Kaiserstuhl, sont des faits très séduisants en faveur de cette dernière supposition.

Si nous cherchions à appliquer une telle hypothèse aux gisements du Jura, le Val-de-Travers nous offre le grand pli-faille de son flanc S.E. comme point d'attache très explicite (voir profil, pl. III). La fissure de ce chevauchement descend certainement jusqu'au Trias, au moins dans la région à rejet maximum, région qui coïncide d'ailleurs presque exactement avec la zone à plus forte imprégnation, entre Travers et Couvet. C'est là un fait que nous devons prendre en considération, bien que j'aurais été plus enclin à adopter d'emblée une autre solution, paraissant plus en accord avec les conditions des autres gisements asphaltifères du Jura. L'impartialité qui doit présider à l'élucidation de tout problème scientifique m'oblige de faire cet examen.

On peut admettre, sans risque d'erreur, que la dislocation du Jura est due à une poussée tectonique venue des Alpes. Tout le plateau suisse a dû se déplacer vers le N.W. en glissant avec tout le complexe de couches qui le composent, sur les marnes plastiques du Trias, soit de l'argile salifère, du Keuper et des marnes du Lias supérieur. Si donc l'argile salifère sous-jacente à cette région, Plateau et Jura, contenait des amas de naphte, cette matière était dans les meilleures conditions pour être déplacée sous l'énorme pression disloquante, et forcée d'ascendre sous les anticlinaux, notamment sous celui de la chaîne du Creux-du-Van-Chasseron, où la pression devait être minimum, puis le long de la surface de glissement du plifaille, jusqu'à la rencontre du calcaire poreux de l'Urgonien qui devait l'absorber avec avidité. Cette explication semble attestée d'une manière frappante par la présence de fissures remplies de bitume dans le Bathonien du Furcil qui forme le centre du deuxième anticlinal du Jura; le gisement des Epoisats mentionné plus haut, sur un anticlinal également chevauché n'est pas moins explicite, en faveur de l'ascension de la profondeur. Cette hypothèse est encore applicable aux gisements de la vallée de la Valserine, vallée qui est également compliquée d'un chevauchement analogue à celui du Val-de-Travers. Par contre, l'origine des gisements du bord du lac de Neuchâtel (Saint-Aubin), de ceux des environs d'Orbe, du pied du Jura entre Gex et le Fort de l'Ecluse, ceux de la vallée de Saint-Point, le naphte de la

Molasse de Dardagny, ainsi que les gisements d'asphalte de Seyssel et des Gorges du Fier ne sauraient s'adapter à cette explication, à moins d'admettre sur chacun de ces emplacements des fissures profondes allant jusqu'au terrain salifère du Trias, ou bien d'attribuer au naphte un pouvoir migrateur tel, pour que nous puissions rattacher les gisements de Saint-Aubin, etc., à ceux du Val-de-Travers et ceux du Pays de Gex à la faille de la Valserine, de même aussi les gisements de Seyssel. Quant à l'asphalte des Gorges du Fier, le voisinage de la faille du Vuache qui sépare la montagne de la Balme de la colline de Lovagny, pourrait être invoquée dans ce but.

Je reconnais, toutefois, qu'il faut beaucoup de bonne volonté pour admettre ces dernières conjectures. C'est supposer de la part de la matière inerte bien de la complaisance que de lui demander, soit un si grand nombre de fissures, soit un pouvoir imprégnant assez puissant pour projeter des éclaboussures de naphte du Val-de-Travers jusqu'au bord du lac de Neuchâtel ou de la vallée de la Valserine jusqu'au Pays de Gex.

C'est pourquoi je n'ose pas conclure d'une manière définitive dans ce sens, et je donne ci-dessous l'explication que je m'étais faite, il y a déjà quelques années; son application est la même à tous les gisements en question.

Si la roche mère du naphte qui a produit l'imprégnation d'asphalte des gisements urgoniens du Jura n'est pas le terrain salifère du Trias, alors il ne reste qu'une seule alternative qui est de chercher son origine dans les terrains qui sont *superposés* à l'Urgonien, car aucun des étages de terrains sédimentaires qui séparent le Trias de l'Urgonien ne saurait avoir joué ce rôle. Il en est de même de tous les terrains tertiaires de la région; aucun ne saurait être considéré comme ayant joué le rôle de roche-mère du naphte. Nous sommes donc d'emblée conduits à la *formation albienne,* car l'Aptien ne peut pas être pris en considération. Mais l'étage albien présente des caractères sédimentaires tellement spéciaux que la genèse sapropélique d'huile minérale pourrait bien avoir été la conséquence de sa formation. L'Albien est en tout cas un terrain transgressif qui repose chez nous, soit sur l'Aptien, l'Urgonien supérieur ou même l'Urgonien inférieur. Sa sédimentation a été précédée d'émersions locales et dans bien des cas on constate même des traces indéniables de corrosion superficielle à la surface de l'Urgonien; alors l'Aptien a été entièrement déblayé et l'Albien est venu se déposer sur un ancien lapié,

une surface carsique. Si nous considérons encore que l'Albien est formé soit de sédiments sableux glauconitiques, contenant d'innombrables fossiles à l'état de moules phosphatés, soit aussi d'argiles plastiques renfermant des fossiles pyriteux, on doit admettre au moins pour les sables à fossiles et nodules phosphatés des conditions spéciales peut-être favorables à la formation de naphte. D'ailleurs les moules des fossiles sont souvent imprégnés de cette substance qui ne peut, dans ce cas, provenir de l'extérieur. C'est donc bien du naphte primaire. Les dimensions, en général très petites, des fossiles et leur nombre prodigieux dans une masse sédimentaire faible montre que la plupart de ces animaux n'ont pas atteint leur entière croissance et qu'ils ont succombé à l'état jeune, donc accidentellement. Je rappelle à cette occasion les accumulations formidables de moules et de concrétions phosphatés des environs de Bellegarde, dont l'exploitation a alimenté pendant quelque temps trois fabriques d'engrais chimique phosphaté. Les bassins de sédimentation de l'Albien contenaient-ils des fonds à forte salure dans lesquels ces organismes succombaient, ou bien y avait-il des émanations morbides (acide carbonique ou hydrogène sulfuré?) qui produisaient cet effet, tout en interceptant le contact de l'air? On ne saurait trancher encore cette question; mais on ne peut y opposer d'objections non plus. La bituminisation de ces hécatombes d'organismes divers, y compris encore le « plancton », pourrait bien expliquer la provenance de l'asphalte contenu dans l'Urgonien du voisinage, par la formation à l'époque albienne d'un sapropel abondant.

Les faits suivants parlent encore en faveur de cette alternative :

1. A la Presta, près Travers, les sables de l'Albien inférieur sont fortement imprégnés d'asphalte, ainsi que les parties supérieures de l'Aptien.

2. L'Albien a existé certainement dans toute la région du pied du Jura de Cressier jusqu'à la cluse du Rhône et probablement plus loin; donc dans toute cette zone où se rencontre l'asphalte en imprégnation plus ou moins sporadique dans l'Urgonien poreux, ou en filons dans le calcaire urgonien compact, ou encore dans la pierre jaune hauterivienne (Chamblon, proche d' un lambeau d'Albien aujourd'hui disparu).

3. Les gisements d'asphalte dans l'Urgonien de la vallée de la Valserine jusque dans le bassin de Bellegarde sont jalonnés par des affleurements d'Albien extrêment fossilifère. A Pyri-

mont-Challonge, l'Albien a certainement existé, mais il a été enlevé pendant la phase d'émersion éocénique; c'est le long d'un ravin, creusé dans l'Urgonien imprégné d'asphalte, que cette substance a pénétré dans l'Aquitanien. Cette même hypothèse de l'ancienne présence de l'Albien peut aussi s'appliquer aux gisements des Gorges du Fier.

4. La migration du naphte s'étant faite du haut en bas, la forme *synclinale* du terrain récepteur était la plus favorable, ce qui correspond également à la situation de tous ces gisements.

Si donc les conditions spéciales de la genèse du naphte pendant la sédimentation de l'Albien nous sont encore obscures, et que le doute doit persister à ce sujet, il nous faut convenir cependant que c'est la seule époque pendant laquelle les conditions nécessaires pour produire cette matière auraient pu être réalisées, quelque soit l'emplacement des gisements considérés. Ou bien les uns de ces gisements asphaltifères ont-ils leur roche mère dans la profondeur (Trias), soit ceux du Val-de-Travers et de la vallée de la Valserine, tandis que les autres dériveraient de l'Albien. Ce serait le cas de tous les gisements du bord S.E. du Jura et du bassin de Bellegarde, ainsi que des gisements tertiaires dans l'Aquitanien. Mais cette double solution, partageant les gisements en deux catégories d'origine différente, se heurte à ce fait que c'est toujours dans l'Urgonien et très rarement dans un terrain inférieur que l'on trouve les imprégnations et remplissages de bitume, qu'ils appartiennent à la première ou à la seconde catégorie : les filons de bitume dans le Bathonien (Furcil et Epoisats) sont des faits isolés qui ne peuvent être mis en relation directe avec les gisements asphaltifères de l'Urgonien du Val-de-Travers, lors même que leur relation avec le Trias peut être invoquée comme très probable. On ne connaît pas de filons de ce genre ni dans le Malm, ni dans le Néocomien inférieur. C'est là l'objection la plus sérieuse — quoique nullement définitive — qui peut être faite à l'hypothèse de l'ascension de la profondeur.

Il me semble donc en définitive que ce serait illogique de répartir ainsi ces gisements en deux catégories, suivant leur roche mère d'ailleurs supposée, alors que les conditions des uns et des autres sont aussi uniformément les mêmes, et j'en arrive à la conclusion que la provenance de l'asphalte doit être pour tous la même, qu'il faut conséquemment faire le choix entre les deux hypothèses également admissibles et

également séduisantes, au moins pour quelques-uns des principaux gisements.

Tout considéré, je dois reconnaître que pour le moment ce choix me paraît devoir être favorable à l'origine albienne qui répond mieux aux conditions générales de tous ces gisements, bien que le mode d'élaboration du naphte pendant la sédimentation de ce terrain soit encore à démontrer.

La découverte de naphte le long du plan de glissement du pli-faille du Val-de-Travers serait par contre un argument très sérieux en faveur de l'ascension de cette substance des gisements primaires triasiques. Déjà la présence des crevasses à asphalte dans le Bathonien du Furcil, proche d'un plan de chevauchement qui a atteint certainement le niveau du Trias, est un indice très sérieux. On aurait alors à trouver une solution pour les gisements du flanc extérieur du Jura et pour ceux du bassin de Bellegarde. Il est réservé à l'avenir de trouver la solution définitive de ce problème.

XLVII

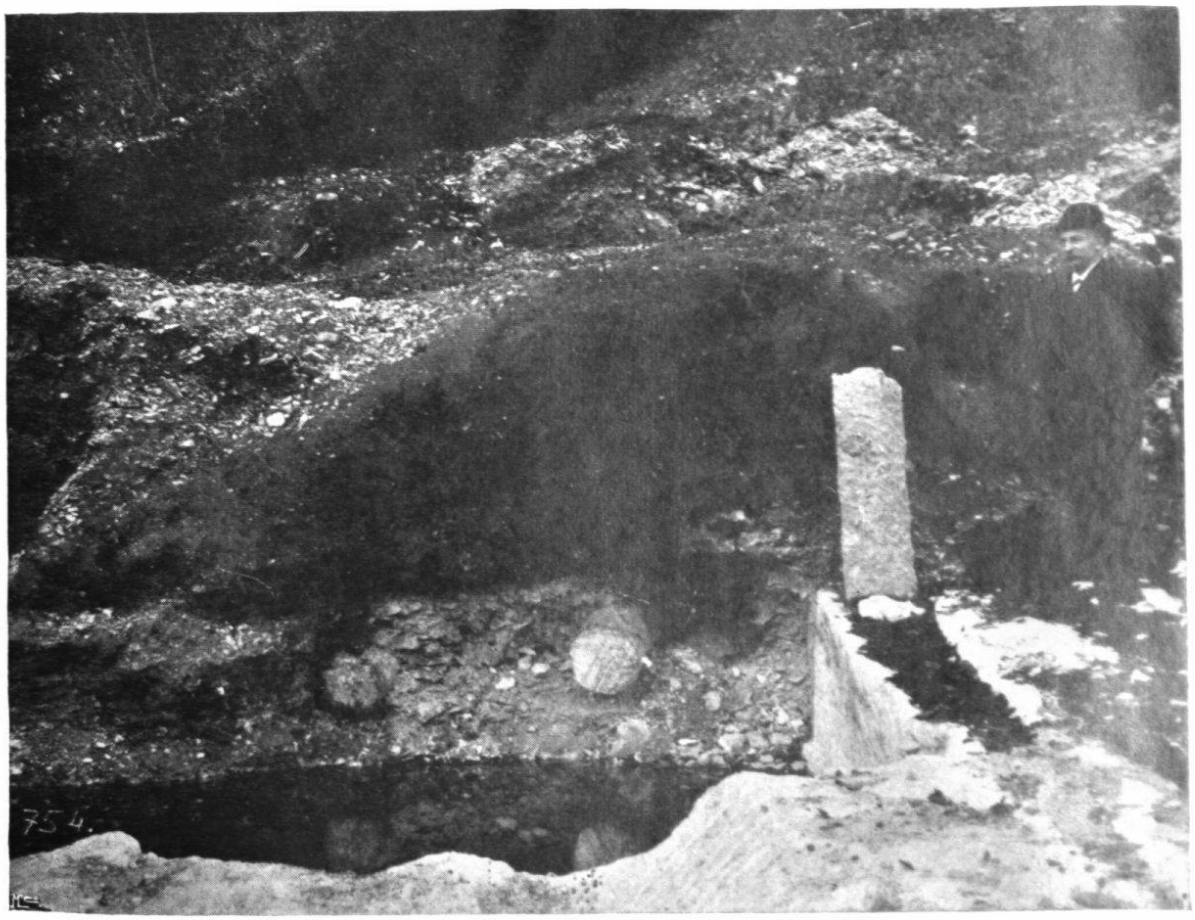
Sur une carrière romaine à La Lance près de Vaumarcus.

(avec une planche et un cliché)

Pendant l'année 1909, on a fait sur un coteau situé au-dessus de la voie ferrée, entre Concise et Vaumarcus, des travaux de découverte, en vue de mettre à nu le rocher calcaire, dont on se propose de faire l'exploitation comme pierre de taille. Cet emplacement était réputé déjà depuis assez longtemps comme ayant été un lieu d'exploitation de pierre de construction à l'époque romaine. Un tronçon de colonne ébauché gisant sur la grève, et que l'abaissement des eaux du lac de Neuchâtel a mis à découvert, avec d'autres qui ont été enlevés, avait donné raison à cette supposition. Il a d'ailleurs paru une étude sur ce sujet de la part de feu l'ingénieur Michel.

Il paraît que les blocs de cette carrière, qui avait réellement une grande importance, ont été transportés de divers côtés et fort loin dans les établissements romains, même jusqu'en Valais. On suppose qu'il y avait alors uue voie navigable mettant en communication le lac de Neuchâtel avec le Léman et qu'ainsi les matériaux de cette carrière peuvent avoir été transportés dans les cités romaines des bords de ce

Carrière romaine de la Lance. *Phot. H. Sch.*
Vue des tranchées et d'un massif dégagé.



Colonnes ébauchées abandonnées sous les déblais. *Phot. H. Sch.*

dernier lac et, en remontant le Rhône, dans les établissements valaisans. Il va sans dire que les stations directement accessibles dans la région du réseau des lacs subjurassiens ont dû être servies les premières.

La partie du coteau où l'on constate les traces d'anciennes exploitations reconnaissables par les amas de déblais et la surface du rocher entaillée, se trouve au lieu, nommé les Favarges sur la carte Siegfried, presque à égale distance entre Concise et Vaumarcus. C'est une étendue de terrain couvert de broussailles, ayant une largeur d'environ 150 m. et s'étendant dès la voie ferrée jusqu'à la route cantonale de Concise à Neuchâtel. Sa superficie mesure environ 15 000 m². C'est sans doute la présence des pierrailles qui a empêché de le mettre en culture.

Les récents travaux de découverte en vue d'une reprise de l'exploitation[1], ont permis de constater l'importance de cette ancienne carrière et de reconnaître qu'il s'agit bien d'une exploitation de l'époque romaine. On y a trouvé des coins en fer, ayant servi à soulever les massifs de pierre, isolés par des tranchées creusées à coups de pique. Un superbe champ d'extraction recouvert par plusieurs mètres de déblais, donc alors abandonné, a été mis au jour, avec ses tranchées parallèles dans le sens de la pente, s'entrecroisant avec d'autres creusées en travers, absolument telle que se pratique encore aujourd'hui l'extraction de la pierre jaune dans les carrières de pierre de taille de Hauterive et ailleurs. Un massif entièrement isolé et prêt à être débité, a été déterré sous cet amas de déblais. Il y avait, en outre, trois fûts de colonnes, en tout point semblables à celui gisant au bord du lac. Deux sont encore visibles au-dessous de l'amas de remblais (voir planche IV). Pourquoi les Romains avaient-ils remblayé cette partie de la carrière? On ne saurait répondre à cette question sans sortir du cadre scientifique de cette notice. Les deux photographies montrent dans une vue d'ensemble cet ancien chantier romain, avec le grand massif isolé, ainsi que des détails du remblaiement opéré, avec les trois tronçons de colonnes.

Lors de la construction du chemin de fer Yverdon-Neuchâtel, on avait ouvert une carrière d'une assez grande importance dans ces mêmes couches en les attaquant de front sur une hauteur d'environ 5 m. Ils appartiennent à l'Urgonien supérieur et sont ici nettement caractérisés par la présence

[1] Les travaux d'extraction ont commencé en effet depuis le printemps 1910.

en très grand nombre, dans la partie moyenne des couches attaquées, du fossile le plus caractéristique pour l'Urgonien supérieur, la *Requienia (Caprotina) Ammonia*. Il y en a parfois une telle quantité, que la roche prend l'aspect d'une lumachelle. La pâte elle-même de la roche est à grain fin parsemée de quelques points cristallins. Un banc inférieur qui ne contient pas de coquilles est d'un grain très uniforme et parcouru de petites veinules grises.

La couleur de la pierre est blanche, avec une très légère teinte jaunâtre. Les couches plongent régulièrement vers le lac de 10° environ et se continuent sur toute l'étendue entre la

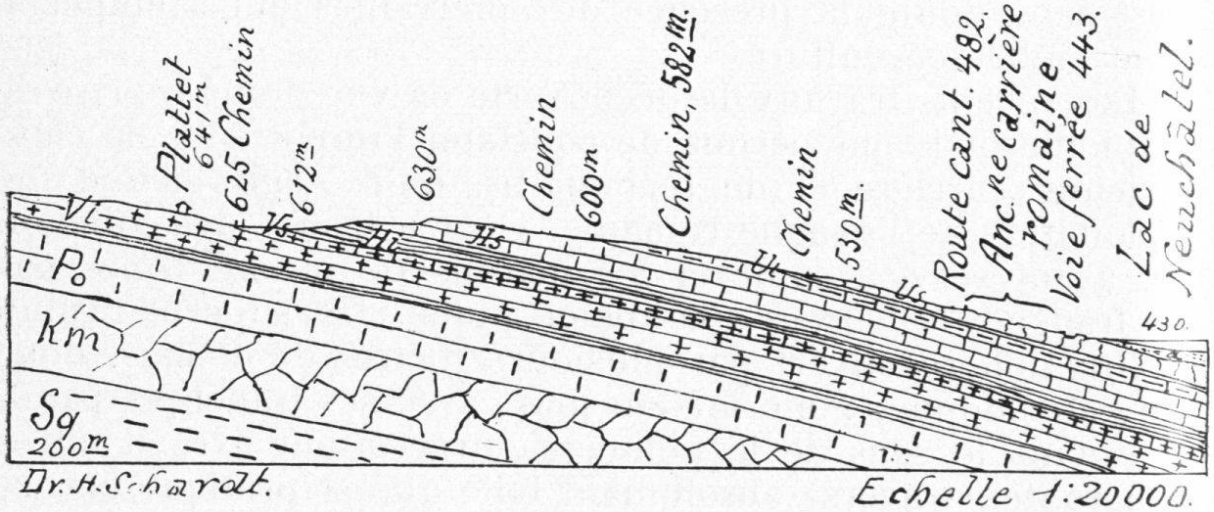


Fig. 21. Coupe géologique à travers le coteau entre le lac de Neuchâtel et le Plattet, montrant la situation de l'ancienne carrière romaine.

LÉGENDE :

A.	Alluvions lacustres.	*Vi.*	Valangien inférieur.
Us.	Urgonien supérieur.	*Pb.*	Purbeckien.
Ui.	Urgonien inférieur.	*Po.*	Portlandien.
Hs.	Hauterivien supérieur.	*Km.*	Kimeridgien.
Hi.	Hauterivien inférieur.	*Sq.*	Séquanien.
Vs.	Valangien supérieur.		

Lance et la Raisse en s'élevant même assez haut au-dessus de la route cantonale, dans le Bois de la Seyte. Du côté du lac, elles sont coupées en falaise. Le petit profil géologique, fig. 21, montre la situation de cette couche. Il est remarquable de constater que cette région qui a été littéralement fouillée par les carriers romains est presque le seul endroit du littoral du lac de Neuchâtel, où le calcaire urgonien supérieur se présente en couches assez épaisses et compactes pour servir de pierre de taille. Sur toute l'étendue entre la Lance et l'emplacement en question, où les affleurements sont presque ininterrompus le long de la tranchée du chemin de fer, ainsi que dans la direction de la Raisse, les couches sont

bien trop fissurées pour pouvoir en tirer des blocs taillables. Il n'y a que la carrière du chemin de fer qui est d'ailleurs directement contiguë à la région des chantiers romains, qui ait pu fournir d'assez beaux matériaux. La plupart des murs de soutènement de la voie ferrée et les « perrés » le long du lac, ont été faits avec la pierre sortie de cette carrière. En trouvant ainsi le seul point où le calcaire urgonien, ordinairement profondément crevassé, est de nature à pouvoir produire de la bonne pierre de taille, les architectes romains ont montré, une fois de plus, une clairvoyance ou du flair, comme on voudra, qui est certes remarquable. On ne trouve pas davantage de bonne pierre exploitable dans les couches urgoniennes qui se rencontrent sur le littoral du lac de Neuchâtel dans la région d'Auvernier. Il y a là bien deux carrières qui ont été ouvertes pour en extraire des enrochements; une autre existe en amont de Boudry et la pierre y est un peu meilleure, mais elle n'équivaut pas à celle de la Lance.

Je rappelle, pour terminer, que la dalle de sépulture romaine, trouvée au chemin de la Creuse à Saint-Blaise, au-dessous de 2 m. de terre tufière déposée par le ruisseau de la Goulette, et que j'avais reconnue pour être du calcaire urgonien (voir *Mél. géol.*, 7me fasc., XXXV, *Bull. Soc. neuch.*, t. XXXIV, p. 221) provient certainement de la carrière romaine de la Lance. J'avais conclu qu'elle devait être originaire du littoral du lac de Neuchâtel, sans oser définir exactement l'endroit; aujourd'hui, après avoir confronté les deux roches, je suis en mesure d'affirmer leur identité et de conclure qu'elle provient de la carrière romaine de la Lance, d'où elle doit avoir été transportée à Saint-Blaise par la voie du lac.

Note ajoutée pendant l'impression.

Depuis l'achèvement de la notice qui précède, j'ai eu l'occasion de visiter l'abbaye de Saint-Maurice, ainsi que les collections d'antiquités qui s'y trouvent conservées et les fouilles sur l'emplacement des anciennes constructions romaines. M. le chanoine Bourbang, prieur de l'abbaye, a bien voulu me donner les explications les plus détaillées et me conduire de la manière la plus aimable. Qu'il reçoive ici l'expression de ma sincère gratitude.

J'ai constaté au cours de cette investigation que les huit dixièmes au moins de la pierre de taille employée par les

Romains pour leurs constructions de Saint-Maurice, proviennent certainement du Jura et appartiennent au calcaire blanc urgonien. Une confrontation avec les échantillons de la carrière de la Raisse démontre l'identité parfaite de la roche et conséquemment il ne subsiste aucun doute quant à la provenance de cette pierre blanche de Saint-Maurice.

Le fait le plus remarquable ne réside pas seulement dans l'abondance des matériaux amenés là par les Romains, mais surtout dans la dimension considérable des blocs. Il y en a qui mesurent bien plus d'un mètre cube, représentant donc un poids de 3 tonnes. Le transport par eau de matériaux de telles dimensions me paraît presque le seul possible, lorsqu'on se représente l'état plutôt précaire des routes de cette époque. On est en droit de se demander si les Romains n'auraient pas déjà établi le canal d'Entre-Roches[1], comme ils avaient commencé les travaux d'un passage de l'Aar dans le lac de Bienne près de Hagneck. Un de ces grands blocs fut scié à la marbrerie de Bex et les plaques permirent de confectionner douze plateaux de tables de 1m,10 de diamètre, dont une se trouve dans le salon de l'abbaye de Saint-Maurice. Sur la surface polie on reconnaît aisément les coupes caractéristiques des *Requiena,* qui abondent dans le calcaire de la Raisse. Le grain et l'aspect général de la Roche sont absolument typiques.

Le plus grand nombre des pièces de pierre taillée provenant de monuments romains qui se trouvent dans le péristyle et dans la cour de l'abbaye, sont en calcaire urgonien.

Je tiens à relever ici que c'est feu l'ingénieur Michel (JULES MICHEL, « Les pierres de taille employées à Saint-Maurice d'Agaune depuis les temps romains jusqu'à nos jours », *Mélanges d'histoire et d'archéologie de la Société helvétique de Saint-Maurice,* 1901) qui a été le premier à indiquer la carrière romaine de la Raisse comme lieu d'origine des nombreux blocs de calcaire blanc à Chama ou Caprotines (Requienia) des constructions romaines, sur lesquelles a été bâtie l'abbaye de Saint-Maurice.

Je voudrais cependant rectifier ici deux assertions de M. Michel, dont l'une est évidemment un lapsus. Le calcaire à Requienia, qu'il nomme calcaire à Chama, ne se trouve pas à la base du Néocomien, mais bien au sommet. Puis il

[1] Cette question est tranchée affirmativement par M. le Dr A. Næf, archéologue, qui insiste aussi sur le mauvais état des routes d'alors, en admettant l'existence du canal d'Entre-Roches. D'après les renseignements qu'a bien voulu me donner M. Næf, ce canal a été rétabli partiellement au moyen âge et utilisé encore au commencement du XIXme siècle.

dit, qu'à part une couche isolée existant au pied de la Dent de Morcles, on n'a nulle part trouvé le calcaire à Chama dans la vallée du Rhône. Ceci est inexact; car sur le calcaire néocomien, exploité près de Collombey sous le nom de marbre, se rencontre un massif de grande épaisseur de calcaire tout aussi pétri de *Chama (Requienia Ammonia)* que les couches de la carrière de la Raisse. Il affleure sur une grande étendue entre Collombey et Muraz. J'ai cependant hâte d'ajouter que les deux roches ne sauraient se confondre. La pierre de Collombey est d'une teinte gris cendre à gris foncé et présente une dûreté bien plus grande que celle de la Raisse. C'est peut-être le motif pour lequel les Romains n'en ont pas entrepris l'exploitation, pas plus que du beau marbre de Collombey qu'ils devaient certainement connaître. On invoquera aussi la préférence qu'avaient les Romains pour les pierres blanches et qu'ils évitaient par dessus tout les pierres sombres, fait qui ressort tout particulièrement de l'absence dans les ruines romaines de Saint-Maurice de la pierre noire de Saint-Triphon. Quoi qu'il en soit, M. Michel n'avait pas moins raison en affirmant que cette pierre blanche à Requienia doit provenir des rives du lac de Neuchâtel et qu'elle ne peut pas avoir son origine dans la vallée du Rhône.

Cette pierre blanche a été transportée même au delà de Martigny, sur la route du Grand Saint-Bernard. M. le chanoine Bourbang en a reconnu des colonnes qui ont été utilisées dans la construction du clocher de Liddes et peut-être en trouvera-t-on au Grand Saint-Bernard même.

A mentionner encore que par la même voie les Romains ont transporté de la région de la Molière ou du Vully du grès coquillier de la Molasse marine, dont ils ont taillé des sarcophages en monolithes. Il y en a une demi-douzaine dans la cour de l'abbaye de Saint-Maurice. M. Michel en fait déjà mention.

Il est intéressant d'ajouter que la carrière de La Sauge près de Saint-Aubin, qui est ouverte dans un calcaire crayeux blanc jaunâtre (Urgonien inférieur), a jadis été exploitée par les Romains, ainsi que m'en a fait part M. Maurice Borel, cartographe. On y a constaté les mêmes tranchées d'exploitation, comme dans celle de La Raisse, et découvert diverses monnaies romaines.