

MATÉRIAUX
POUR LA
CARTE GÉOLOGIQUE DE LA SUISSE

PUBLIÉS PAR LA COMMISSION GÉOLOGIQUE DE LA SOCIÉTÉ HELVÉTIQUE DES SCIENCES NATURELLES
AUX FRAIS DE LA CONFÉDÉRATION

NOUVELLE SÉRIE: XXXVIII^e LIVRAISON
68^e LIVRAISON DE LA COLLECTION ENTIÈRE

LES SOURCES THERMALES
DE
LOÈCHE-LES-BAINS
(LEUKERBAD — VALAIS)

PAR
MAURICE LUGEON
PROFESSEUR DE GÉOLOGIE À L'UNIVERSITÉ DE LAUSANNE

AVEC 2 PLANCHES HORS TEXTE ET 5 FIGURES DANS LE TEXTE

BERNE
EN COMMISSION CHEZ A. FRANCKE (CI-DEVANT SCHMID & FRANCKE)
1912
Imprimerie Stämpfli & Cie., Berne.

Dans la séance de la Commission géologique du 18 décembre 1911, M. le professeur *Maurice Lugeon* a présenté le manuscrit d'une monographie intitulée: Les sources thermales de Loèche-les-Bains.

La Commission a accepté ce mémoire renfermant des résultats spéciaux du travail de l'auteur sur les Hautes Alpes calcaires entre la Lizerne et la Kander (Matériaux, livraison XXX, nouvelle série, et carte spéciale n° 60).

La Commission géologique déclare que l'auteur est seul responsable du contenu de son ouvrage et de l'exactitude des dessins, cartes et profils qui l'accompagnent.

Zurich, le 27 mars 1912.

Pour la Commission géologique suisse,

Le Président:

Dr. Alb. Heim.

Le Secrétaire:

Dr. Aug. Aeppli.

Table des matières.

	Page
1. <i>Introduction</i>	1
2. <i>Historique</i>	2
3. <i>Description des sources</i>	3
A. Source de Loèche et des environs immédiats	3
B. Autres sources des environs immédiats	6
C. Les sources de la vallée de la Dala en amont du Pont de la Guérison	7
4. <i>Causes de la distribution des sources rocheuses et des sources glaciaires</i>	9
5. <i>La nappe aquifère thermique près de la surface</i>	10
6. <i>Arguments tirés des dépôts de tuf</i>	13
7. <i>La composition chimique des sources et leurs dépôts</i>	14
A. Analyse de l'eau	15
B. Analyse des gaz spontanés et en dissolution	16
C. Matières déposées par les sources	16
D. Radioactivité	17
8. <i>Hypothèses sur l'alimentation de la nappe thermique</i>	18
9. <i>Température des sources thermiques</i>	25
<hr/>	
<i>Bibliographie</i>	30



1. Introduction.

Im Mittel eines Thals vom himmelhohen Eise,
Wohin der wilde Nord den kalten Thron gesetzt,
Entspriesst ein reicher Brunn mit siedendem Gebräuse,
Raucht durch das welke Gras, und senget, was er netzt.
Sein lauter Wasser rinnt voll flüssiger Metallen,
Ein heilsam Eisernerz vergoldet seinen Lauf;
Ihn wärmt der Erde Gruft, und seine Fluthen wallen
Vom innerlichen Streit vermischter Salze auf.
Umsonst schlägt Wind und Schnee um seine Fluth zusammen;
Sein Wesen selbst ist Feuer, und seine Wellen Flammen.

HALLER.

Les sources thermales de Loèche-les-Bains, déjà connues du temps des Romains, comme la plupart des grandes sources chaudes des territoires occupés par ces grands colonisateurs, ont été décrites à plusieurs reprises.

Ces sources sont situées dans une de nos belles vallées des Hautes Alpes calcaires, celle de la Dala, entre les hauts massifs du Balmhorn et du Torrenthorn, au pied du col de la Gemmi, où passent chaque année des milliers de touristes, alors qu'à Loèche de nombreux malades viennent chercher dans ces eaux bienfaisantes une guérison presque toujours certaine.

Elles sont nombreuses ces sources, à une altitude telle qu'elles sont parmi les plus hautes de l'Europe. Leur débit est considérable; la température de plusieurs d'entre elles relativement élevée; autant de faits intéressants qui m'ont paru nécessiter une étude géologique détaillée que je pensais publier dans une monographie qui doit accompagner ma Carte géologique des Hautes Alpes calcaires. Mais, de plusieurs côtés, je suis sollicité de rendre publiques mes recherches, et d'autre part ce mémoire est devenu plus volumineux que je ne le pensais ce qui justifie une publication séparée dont la Commission géologique fédérale a bien voulu se charger.

Le lecteur voudra bien se rapporter pour la géologie à ma carte géologique de la région (Bibliographie n° 44).

Mon collègue, le professeur *Albert Gockel* de Fribourg en Suisse, spécialiste physicien bien connu, m'a apporté le secours de sa haute compétence en radio-activité. Qu'il me soit permis de le remercier chaudement, car on verra la place que prend dans les hypothèses la question de l'origine du radium si remarquablement abondant dans les boues et en conséquence dans les eaux de Loèche.

Sans doute, un certain nombre de recherches sont encore nécessaires, mais elles sont plus du domaine du physicien et du chimiste que de celui du géologue. Il m'eût été agréable d'introduire ici ces compléments, mais faute de collaborateur il me paraît utile de publier aujourd'hui les résultats de mon enquête.

Je remercie mon collègue, le professeur *Hugi* de l'Université de Berne, qui m'a communiqué les résultats de jaugeages pratiqués par lui et qui a eu la grande amabilité de me renseigner sur les sources rencontrées dans la perforation du tunnel du Lötschberg.

Enfin j'adresse également mes remerciements à la Société des Hôtels et Bains de Loèche qui a toujours facilité mes enquêtes.

Institut géologique de l'Université de Lausanne, le 15 janvier 1911.

Maurice Lugeon.

2. Historique.

Au XV^e siècle déjà, en 1476, un médecin, *Theophrastus Paracelsus*, qui fut professeur à Bâle, signale les bains de Loèche. Nous ne trouvons guère que des considérations médicales dans cet ancien écrit, ainsi que dans celui qui fut publié en 1489 par *Heinrich Gundelfingen*.

Quelque cinquante ans plus tard, Loèche fut visité par deux géographes célèbres, *Munster* et *Stumpf*. Le premier passe en tremblant la Gemmi, alors très peu fréquentée; il goûte les eaux thermales et donne une description peu détaillée des bains. Examinant les sources, il ajoute qu'elles doivent contenir du fer et du cuivre. *Stumpf* croit également à la présence de ce dernier corps.

Le pharmacien de Sion, *Collinus*, est moins sobre que les deux historiens et géographes que je viens de citer. Il donne une description légendaire et pittoresque de la région. Mal renseigné, il croit que la source de St-Laurent se trouble périodiquement au mois de mai. Comme ses prédécesseurs, il ajoute que les eaux sont sans goût et il pense qu'elles doivent contenir de l'or en quantité, sans doute parce qu'il voit les pièces de monnaie se couvrir rapidement d'un enduit doré d'oxyde de fer quand on les plonge dans l'eau, expérience que les baigneurs s'amusaient encore à faire de nos jours.

Plus tard, l'ancien professeur de théologie de Zurich, *Josias Simler*, en 1574, parle de Loèche-les-Bains dans sa fameuse description du Valais. L'eau est si chaude, fait-il remarquer avec une exagération digne de son temps, que les œufs que l'on plonge dans l'eau thermale se durcissent.

Dans le cours du XVII^e siècle, un certain nombre d'auteurs mentionnent les bains de Loèche, ainsi le médecin *Fabricius Hildanus* en 1829, puis *Constantin Castel* en 1647 et enfin *J. J. Wagner* dans son ouvrage sur la géographie physique de la Suisse.

Le grand zurichois *J. J. Scheuchzer*, l'homme qui introduisit le premier dans l'étude de la nature les méthodes rigoureuses de l'expérience, ne manque pas de faire quelques recherches au sujet de la composition des eaux de Loèche. Il montre qu'elles ne contiennent pas d'or, mais du fer.

En 1769, paraît sur Loèche un document de première importance en ce qui concerne nos recherches. Il est dû au pharmacien de Sion, *Natterer*. Cet homme, qui connaissait très bien les lieux pour y avoir vécu longtemps, donne une bonne description des sources thermales et, chose importante, prend au thermomètre la température des principales sources.

Ces mesures sont répétées en 1784 par le fameux naturaliste russe *Razoumowski*, savant dont les travaux sur la Suisse occidentale sont parfois des chefs-d'œuvre.

Ce n'est que quarante-cinq ans plus tard, en 1827, que les sources de Loèche préoccupent de nouveau les naturalistes. Mais cette fois-ci il s'agit d'une œuvre fondamentale due aux deux chimistes *Brunner* et *Pagenstecher*, et publiée par la Société helvétique des sciences naturelles. On ne saurait trop faire l'éloge du mémoire de ces deux savants. On lit dans leur ouvrage un historique très approfondi, auquel du reste j'ai beaucoup emprunté. Les auteurs donnent une description détaillée de la plupart des sources importantes, leur température, leur analyse, celle des gaz dissous, etc. C'est avec l'œuvre du médecin *Grillet* ce que l'on a écrit de mieux jusqu'à ce jour sur les eaux de Loèche. On ne saurait trop recommander le petit volume de *Grillet*. C'est un modèle de description sérieuse d'une station thermale. Ce qui a été publié plus tard par les hôteliers, les médecins, brochures nombreuses, n'a été qu'en grande partie la transcription de l'ouvrage dont nous parlons et en général il n'est pas mentionné.

Les eaux sont analysées plus tard par *de Fellenberg*, le père, en 1844, et très complètement, avec grand soin, en 1845 par *Pyrame Morin* de Genève. Ce chimiste a exécuté un travail très fouillé, publié en entier par *Grillet*.

Il est fait mention de Loèche en 1855. On croyait que les sources avaient brusquement augmenté de température à la suite du tremblement de terre qui bouleversa une partie du Valais. Cette erreur, dont nous parlerons plus loin, n'a pas pu être déracinée, malgré les efforts de *Louis Dufour*, le physicien de l'Académie de Lausanne.

Dans ces dernières années mon maître et ami, le professeur *A. Heim* de Zurich, fit une expertise des sources lors de la reprise des hôtels par la société actuelle. Un court résumé du travail, resté manuscrit, du savant zurichois a été publié dans une notice sur Loèche-les-Bains par le docteur *J. de Werra*. *Heim* suppose que les sources proviennent de la région du massif du Wildstrubel.

Enfin, moi-même, plus tard, j'ai dit quelques mots sur ces sources, et le professeur *Gockel* de Fribourg signalait la présence d'émanations radio-actives que je trouvais également la même année (1904), d'une manière indépendante, avec mon élève *M. V. Vuilleumier*, dans le fango rouge et l'eau des sources. La radio-activité de deux des sources a fait en 1907 l'objet de recherches de la part de *L. von Surry*.

Tel est, très résumé, ce qui nous intéresse dans l'historique des eaux de Loèche-les-Bains.

3. Description des sources.

Les sources thermales de la vallée de la Dala sont localisées dans une zone légèrement arquée, longue de deux kilomètres, soit dans le thalweg, soit à une faible distance de celui-ci. Nous pouvons distinguer deux groupes de sources. Les unes, celles qui pour la plupart sont utilisées, sourdent dans le village ou à peu de distance. Elles jaillissent du terrain glaciaire. Les autres apparaissent dans le lit de la Dala, en amont de Loèche-les-Bains. Presque sans exception, ces dernières émergent de la roche en place.

Je décrirai ces sources d'aval en amont. Je les ai étudiées en septembre 1904, profitant de la période d'étiage du torrent. En été plusieurs des sources que je décrirai sont inabordables.

A. Sources de Loèche et des environs immédiats.

(Voir planche I.)

A. La Staffelin. — Sur la rive droite de la Dala, en aval de Loèche, sur le côté gauche d'un ruisseau qui passe à côté des maisons de Stafelzug, sort une petite source de 2 à 3 litres-minute. Elle jaillit à une trentaine de mètres de distance de la Dala, à 5 ou 6 mètres au-dessus de ce torrent, dans les cailloutis du ruisseau. Elle dépose un fango rouge caractéristique.

B. La Rossgüll. — Cette énorme source émerge à côté de la grande route, à gauche en montant, sur le bord de la terrasse dite Untere Maressen. Elle jaillit à une trentaine de mètres au-dessus de la Dala. Elle n'est pas captée.

Cette émergence est fort singulière, car c'est sur le bord de la terrasse qu'elle se trouve. Cette terrasse est formée par une moraine, ainsi qu'on peut s'en assurer en la longeant. Du tuf déposé encore actuellement empâte en partie les matériaux erratiques.

Grillet dit que cette source apparut subitement en 1856 (37 p. 57). C'est une erreur. *Natterer* en 1770, *Brunner* et *Pagenstecher* en 1819 ont mesuré la température de cette source. Le premier de ces observateurs ajoute même que son débit est considérable. Un vieillard indigène, *Grichting*, m'a affirmé avoir toujours vu la Rossgüll, avant 1856. Il est possible que la source ait changé de place. Elle sort actuellement dans un creux d'environ 1.50 m de profondeur; or, dans le voisinage, tout à côté on voit des creux semblables, mais moins profonds.

L'eau de la Rossgüll est habituellement trouble. Elle charrie une quantité considérable de débris très fins de schistes noirs. A côté du tuf et de ce fango noir, il se dépose par voie chimique du fango rouge. Dégagement de nombreuses bulles de gaz.

En 8 novembre 1907, en compagnie de M. le professeur *Hugi* de Berne, nous avons mesuré le débit de cette source. Il était de 486 litres-minute. — Le 6 novembre 1908, M. *Hugi* n'a constaté que 421 litres, sur une moyenne de trois mesures.

C. Dans la prairie marécageuse dite Untere Maessen, entre la grande route et le village des hôtels sort à quelques mètres du ruisseau d'eau chaude qui provient des bains, une petite source thermale. Sa température était de 19.6 degrés en automne 1904.

D. Source de St-Laurent. — C'est la plus volumineuse des sources de Loèche, celle qui a surtout attiré l'attention des observateurs. Elle sort sur la place du village, vers l'angle nord-ouest de l'Hôtel de la Maison Blanche.

Le point d'émergence est recouvert par une grande dalle qui existait déjà à l'époque de Collinus (1569). C'est là que s'élevait jadis la petite chapelle dédiée à St-Laurent.

Aujourd'hui, la source arrive au jour dans une petite chambre de captage quadrangulaire qui est pourvue d'un couvercle en fer sis au niveau du sol.

Des bulles de gaz se dégagent de la source. Celle-ci est peu chargée de matières en suspension, dont la teneur est du reste irrégulière. En 1911, les habitués des bains estimaient que l'eau salissait davantage leurs linges de bains que l'année précédente. Il y a également dépôt d'un fango rouge caractéristique de toutes les sources thermales de Loèche, mais en quantité qui n'est pas excessive.

Une petite dérivation de la source de St-Laurent portait jadis le nom de *Fontaine* ou *Source d'or*, parce qu'on y plongeait plus volontiers des monnaies d'argent qui s'y doraiement par un léger dépôt d'hydroxyde de fer.

Le chimiste *Morin* a estimé en septembre 1844 le débit de la source de St-Laurent à 980 litres-minute.

En 1907, le 7 novembre, en compagnie de mon collègue, M. le professeur *Hugi*, de l'Université de Berne, nous avons jaugé la source avec grand soin, la Société des Hôtels tenant à se couvrir à propos de la perforation du tunnel du Lötschberg. Voici comment nous avons procédé.

La chambre d'eau du captage possède quatre canaux de sortie:

1° Canal d'écoulement conduisant au bassin réfrigérant,

2° Canal du trop plein,

3° Gros tube en fer, fermé pendant les mesures,

4° Petit tube en fer, conduisant à une fontaine publique située derrière l'Hôtel Brunner.

L'eau circulait dans cette conduite durant les mesures.

Nous avons fermé le canal n° 2. La quantité d'eau totale (à l'exception de celle qui coulait dans 4) a été conduite dans le bassin réfrigérant.

Celui-ci est une chambre souterraine quadrangulaire, pourvue d'une chappe en ciment; elle se trouve également sur la place de St-Laurent. Elle est fermée au niveau du sol, du côté occidental, par un petit couvercle en fer. Les dimensions du fond de ce bassin sont définies par les nombres suivants:

Longueur de la chambre 17.1 mètres.

Largeur " " " 5.0 "

Sur le fond reposent les quatre murs de soutènement des tuyaux de réfrigérance. Ils ont les dimensions suivantes:

1 : Longueur 12.7 m, largeur 0.16 m.

2 : " 12.7 " " 0.55 "

3 : " 12.7 " " 0.60 "

4 : " 12.7 " " 0.17 "

Par conséquent, la surface du fond du bassin est de 66.7 m². Nous avons laissé couler l'eau jusqu'à un niveau repéré par un trait rouge, puis jusqu'à un deuxième niveau à 0.1 m au-dessus.

La durée du remplissage entre les niveaux a été de 8 minutes 49 secondes, soit 529 secondes. La quantité d'eau entre les deux niveaux étant de 6670 litres, nous avons ainsi obtenu un premier débit de 12.6 litres par seconde.

Mais pendant cette opération, le canal de vidange du bassin réfrigérant n'a pu être complètement obturé. La quantité d'eau qui s'échappait encore a pu être mesurée directement dans le canal de vidange qui passe près de l'hôtel de l'Union. Le débit de ce canal était de 2.2 litres-seconde.

La fontaine publique derrière l'hôtel Brunner, dont la conduite n'avait pas été bouchée, débitait 0.27.

Le débit de la source de St-Laurent est donc de 15.07 litres-seconde ou ce qui est plus expressif 904.2 litres-minute.

Notre chiffre est donc un peu plus faible que celui donné par *Morin*.

En 1908, M. *Hugi*, le 8 novembre, a refait une mesure en s'entourant des mêmes précautions. Il n'a plus trouvé qu'un débit de 13.31 litres à la seconde, soit 798.6 litres-minute.

E. Source du Bain de pieds (Fussbadquelle). Quand on sort du village des hôtels, en suivant le chemin du versant gauche de la vallée, on arrive sur une terrasse de prairies qui domine le cours du torrent. C'est l'Obere Maressen. Sur cette terrasse, entre le chemin et l'escarpement de la terrasse, existe une grosse source dite du Bain de pieds. La chambre de captage est un réservoir quadrangulaire élevé au-dessus du sol et vouté à la partie supérieure. Il n'y a pas de canal d'amenée; l'eau thermale sourd en plusieurs points sur le fond boueux de la chambre. L'eau charrie une grande quantité de matières en suspension, débris très ténus de schistes aaléniens qui forment un limon très compact dans le fond du bassin. Des gaz abondants se dégagent de l'eau. Une des venues d'eau présente le fait très curieux de variations rapides de température entre 42.6 et 43°. On voit la colonne de mercure comme agitée par un tremblement continu. Ce fait ne peut être attribué qu'à un mélange imparfait de deux eaux de température différente.

Le débit de la source était le 8 novembre 1907 (*Lugeon* et *Hugi*) et le 6 novembre 1908 (*Hugi* et *Oscar Lorétan*) de 96 litres-minute.

À côté de la source du Bain de pieds apparaissent sur la terrasse, à quelques mètres de distance, deux petites sources mesurant 18.6 et 34.4° pour celle placée à environ 3 mètres du chemin (température de septembre 1904).

F. Source des Pauvres ou source des Lépreux (Fischweiherquelle). — Cette source se trouve à environs deux cents mètres à l'W de la source du Bain de pieds, au pied de la pente morainique qui de la terrasse s'élève vers l'Alpe de Feuillerette.

Natterer, en 1770, cite trois sources dont l'une appelée la *Vomitive*. *Razoumowski*, en 1783, ne parle que de deux sources la *Kotzbrunn* et la *Gullbrunn*. En 1827, *Brunner* et *Pagenstecher* ont mesuré la température de trois filons.

Aujourd'hui deux sources seules arrivent par des tuyaux en bois dans une chambre d'eau, en bois, très rudimentaire. Ces sources débitent fort peu de fango gris (schistes aaléniens), mais par contre une quantité relativement considérable de fango rouge. On en trouve toujours en abondance dans la caisse de captage.

Le débit est:	(novembre 1907)	source est	62.4	littres-minute	(<i>Lugeon</i> et <i>Hugi</i>),
		source sud	79.2	"	(<i>Lugeon</i> et <i>Hugi</i>),
	(novembre 1908)	source est	59.4	"	(<i>Hugi</i> et <i>Lorétan</i>),
		source sud	78.6	"	(<i>Hugi</i> et <i>Lorétan</i>).

Total 141.6 en 1907 et 138 en 1908.

G. Source de la Guérison (Heilbadquelle). — En continuant à suivre le chemin de la vallée, on arrive à une bifurcation, l'un des chemins traverse la Dala par un pont. Entre les deux chemins se trouve un petit mamelon, surmonté d'une croix, autour duquel on voit une sorte

de fossé. C'est là que sont captés les divers filons qui forment la source dite de la Guérison. Dans le réservoir en bois qui sert de chambre de captage apparaissent deux venues d'eau. Ces sources étaient au nombre de 6 au temps de *Natterer* et au nombre de 5 quand elles furent étudiées par ordre de la Société helvétique des Sciences naturelles par *Brunner* et *Pagenstecher*.

Les venues d'eau ne sont pas complètement captées, ou pour mieux dire le captage est si mauvais qu'il y a des pertes. On en voit trois au-dessous du chemin, dont l'une sort d'une vieille canalisation en bois.

Le débit total est difficile à déterminer.

En 1907, dans la chambre de captage, nous avons déterminé, *Hugi* et moi, un débit de 104.4 litres-minute.

En 1908, *Hugi* et *Lorétan* ont déterminé :

Dans la chambre de captage	94.8 litres-minute.
Perte la plus haute au-dessous du chemin	11.4 „
Les deux autres pertes	12.9 „

Le débit de cette source de la guérison m'a paru plus faible en 1904.

B. Autres sources des environs immédiats.

Revenons en arrière et pénétrons dans la vallée par un chemin qui part de l'Hôtel des Alpes, passe en tunnel sous un rocher de tuf et peu à peu se rapproche de la Dala.

H. A une cinquantaine de mètres du rocher de tuf, au-dessus du chemin, dans le flanc de la terrasse, sortent du glacier trois petits filets d'eau tiède dont il est difficile de trouver rigoureusement le point d'émergence, car ce ne sont guère que des suintements. Les deux inférieurs ont une température, celui du sud 21°, celui du nord 22.5°. Plus haut, presque au bord de la terrasse, la troisième venue d'eau a 18.5°.

Ces trois suintements situés en aval de la source du Bain de pieds, à une cinquantaine de mètres de distance peuvent être considérés comme des pertes de cette source principale.

J. En poursuivant le chemin, on voit, quelques mètres plus loin, affleurer les schistes aaléniens dominés par un escarpement plus ou moins brisé de tuf. De gros blocs ont éboulé jusqu'au bord de la Dala. Les schistes aaléniens peuvent être suivis, sur la rive gauche, jusqu'au pont situé à côté de la source de la Guérison.

En amont de la prise d'eau qui alimente la petite usine hydro-électrique des hôtels sort dans le lit du torrent, sur son côté gauche, une petite source avec dépôt rouge. Température 22.5°.

K. Un peu en amont de cette source, sur la rive droite, deux suintements distants de quelques mètres l'un de l'autre ont une température de 14.1 et 14.2°. Pas de dépôt rouge¹⁾.

L. En continuant à remonter le torrent, on passe devant un escarpement aalénien situé sur la rive droite, et au pied, sur la rive gauche, d'un petit abrupt des mêmes schistes surmontés par une plaque de tuf. En ce point une petite source, au griffon rougi par le fango caractéristique, sort à 2 m au-dessus du ruisseau. Sa température est de 16.5°.

M. Puis nous arrivons à un groupe de sources plus importantes, toujours sur la rive gauche. Elles sortent au pied d'un gros rocher de tuf, l'une d'une sorte de petite grotte où l'on voit l'eau ruisseler sur les schistes aaléniens. L'émergence de ces sources se fait entre 2 et 4 mètres au-dessus du torrent. Il y a 6 sources principales dont les températures varient entre 19.7 et 20.4°. Aucun dépôt rouge.

Je n'ai constaté aucune autre source jusqu'au Pont de la source de la Guérison.

¹⁾ Pour le filon amont. Pour le filon aval, je ne trouve aucune indication dans mes notes en ce qui concerne le dépôt hydrochimique.

C. Les sources de la vallée de la Dala en amont du Pont de la Guérison.

En amont de Loèche, la Dala coule dans une étroite gorge qu'il est difficile de parcourir. Profitant des basses eaux de septembre 1904, j'ai pu cependant explorer presque tout le thalweg jusqu'en amont des chalets de Majing. Peu de sources thermales ont dû échapper à mon enquête, et je puis même dire que si on constate plus tard des sources que je ne signale pas, c'est qu'elles n'existaient pas en 1904 (fig. 1).

N. En amont du Pont de la Guérison, une étroite gorge aux parois verticales est taillée dans les calcaires du Bajocien. A l'entrée de cette gorge étroite, sur la rive gauche, sortent deux sources du roc réchauffé. La première apparaît à 0.40 m au-dessus de l'eau; elle est abondante, température 40.05°. La deuxième tout à côté, n'est qu'un suintement qui sort à 0.25 m au-dessus de l'eau, température 36.2°. Fait curieux, ces deux sources n'existaient plus à la fin de juin 1907. Une nouvelle source était apparue plus bas. C'est la raison qui me fait dire que l'émergence de ces sources peut être variable.

O. Un peu plus haut, dans la gorge, sur la rive droite, un suintement mesure 32.01°. Le reste de la gorge jusqu'à la cascade est inaccessible. Je ne crois pas que d'autres sources thermales y apparaissent, car elles sont toujours bien visibles à distance à cause de leur dépôt rouge caractéristique, que je n'ai aperçu nulle part.

P. Sur la rive droite de la Dala, dans le pâturage, en partie boisé, qui domine le cours d'eau, à peu près en face de l'extrémité de la promenade de la Cascade, sort à environ 40 m au-dessus du torrent, sous un bloc, une

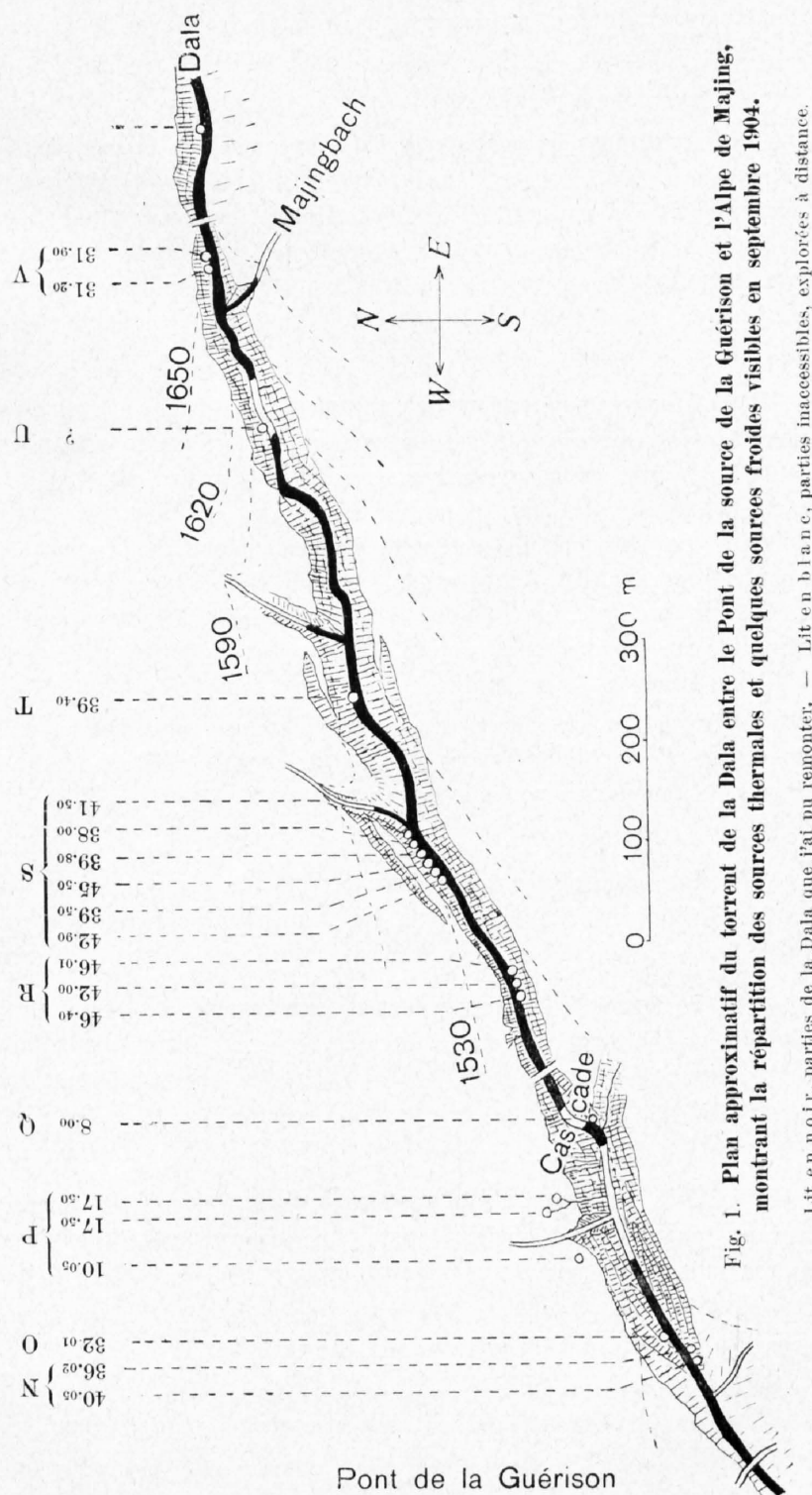


Fig. 1. Plan approximatif du torrent de la Dala entre le Pont de la Guérison et l'Alpe de Majing, montrant la répartition des sources thermales et quelques sources froides visibles en septembre 1904.

Lit en noir, parties de la Dala que j'ai pu remonter. — Lit en blanc, parties inaccessibles, explorées à distance.

petite source thermale d'environ 5 litres-minute. A côté, on en voit une plus petite, température 17.5°. Ces sources ne livrent aucun dépôt rouge. Non loin de là, mais en aval, existe une source froide relativement, de 30 litres-minute environ, qui sort également de l'éboulis; température 10.5°. Ce groupe de source est intéressant par sa position très exceptionnelle.

Q. Plus en amont, au pied de la cascade, on voit une tache rouge. On peut l'atteindre en suivant un petit sentier qui prolonge le chemin de la promenade de la Cascade, jusqu'à un pré d'où l'on peut descendre jusqu'au pied de la cascade. On voit alors une très petite source en deux filons sortant du roc, rive gauche, à 5 m au-dessus du cours d'eau. La température n'est que de 8°, mais par leurs dépôts rouges, et déjà par leur thermalité, il est certain que ces suintements se rattachent à la venue d'eau thermale.

R. Retournons au bord de la Dala, en amont de la cascade, par le petit sentier qui prolonge la promenade. On arrive dans un pâturage, puis vers un pont de bois qui franchit le cours d'eau encaissé entre deux petites parois verticales de calcaire bajocien. On peut descendre ici au bord de l'eau et remonter le lit très encaissé par des bancs de rocs surplombants. Sur la rive gauche apparaît un premier groupe de trois sources qui jaillissent de 0.6 à 0.7 m au-dessus de l'eau. L'une d'elle tombe en jet dans le torrent. D'aval en amont la température de ces sources est 46.4, 42.0, 46.01°.

S. A une centaine de mètres en amont, sur la rive droite, apparaît un nouveau groupe plus important de sources. On rencontre tout d'abord dans le lit même du torrent une première source jaillissant entre deux grosses pierres. Température 42.9°. Un peu plus haut, toujours dans la Dala, au niveau de l'eau, apparaît une source qui doit être importante à en juger par l'eau qui ruisselle par cinq filons entre les pierres. L'eau de la source est plus ou moins mélangée avec l'eau du torrent. La température varie de 20 à 39.5°. Vingt mètres environ en amont, à 0.3 m au-dessus du torrent, une source qui peut débiter 15 litres à la minute, quantité estimée à l'œil, possède une température de 45.5°; elle est dominée par une petite source d'un débit de 3 à 5 litres, situés à 1.5 m au-dessus de l'eau; température 39.8°.

Dix mètres en amont, une nouvelle source, plus petite, d'environ 3 litres jaillit à 0.3 m au-dessus de l'eau; température 38°. Puis, sortant d'une fissure, à 6 m en amont, à 0.5 m au-dessus de l'eau, une nouvelle source thermale estimée à 30 à 40 litres-minute de débit, température 41.5°.

T. Entre la confluence des deux torrents qui descendent de l'Alte Gemmi, j'ai trouvé dans la partie droite du lit même de la Dala une source estimée à environ 30 litres-minute; température 39.4°.

U. En amont du supérieur de ces deux torrents, la gorge de la Dala est à peine praticable; elle est même inabordable sur quelques mètres. Après avoir fait un coude, on se trouve en présence d'une cascade à deux jets. Une source thermale, bien caractéristique par le fango rouge qu'elle dépose, sort dans la cascade elle-même, sur le côté droit de l'escarpement. Elle est inaccessible.

V. Enfin, en amont de la confluence de la Dala et du torrent de Majing, sur la rive droite, sortant toujours du Bajocien, existent à quelques mètres au-dessus du cours d'eau les deux dernières sources thermales; température de la source aval 31.2, de l'amont 31.9°.

J'ai remonté environ 500 m le cours de la Dala en amont de ces deux dernières sources sans rencontrer aucune autre venue thermale.

4. Causes de la distribution des sources rocheuses et des sources glaciaires.

Les sources que je viens de décrire sont localisées le long d'une ligne légèrement arquée. Sauf une (Q) toutes celles situées en amont du Pont de la Guérison sortent de la roche en place, soit du calcaire échinodermique du Bajocien; elles apparaissent dans le torrent ou à quelques mètres au-dessus de l'eau, tandis que celles qui alimentent les Bains de Loèche, ainsi que la Rossgüll, jaillissent sur du terrain remanié, bien au-dessus du cours de la Dala.

Les sources thermales, comme toutes les sources ascendantes, sortent très habituellement au niveau des cours d'eau, c'est-à-dire dans les points où la pression hydrostatique est la plus faible. Une cause quelconque doit donc faciliter ici l'ascension des sources de la Guérison, des Pauvres, du Bain de pieds, de St-Laurent et de la Rossgüll pour qu'elles puissent s'élever pareillement au-dessus de la Dala, ou bien une cause doit les empêcher de rejoindre le plus rapidement possible le cours d'eau, comme c'est le cas de toutes les sources rocheuses, dans la Dala supérieure.

Une étude attentive des lieux, dont la description pourra être suivie sur la petite carte qui accompagne ce mémoire (pl. I), m'a montré que les sources élevées suivent le tracé d'un ancien cours de la Dala comblé par des dépôts morainiques.

Voyons la démonstration de cet énoncé.

Trois éléments nous viennent en aide: la roche en place, le tuf déposé par les eaux et le terrain glaciaire.

Matér. pour la carte géol., nouv. série, 38^e livr.

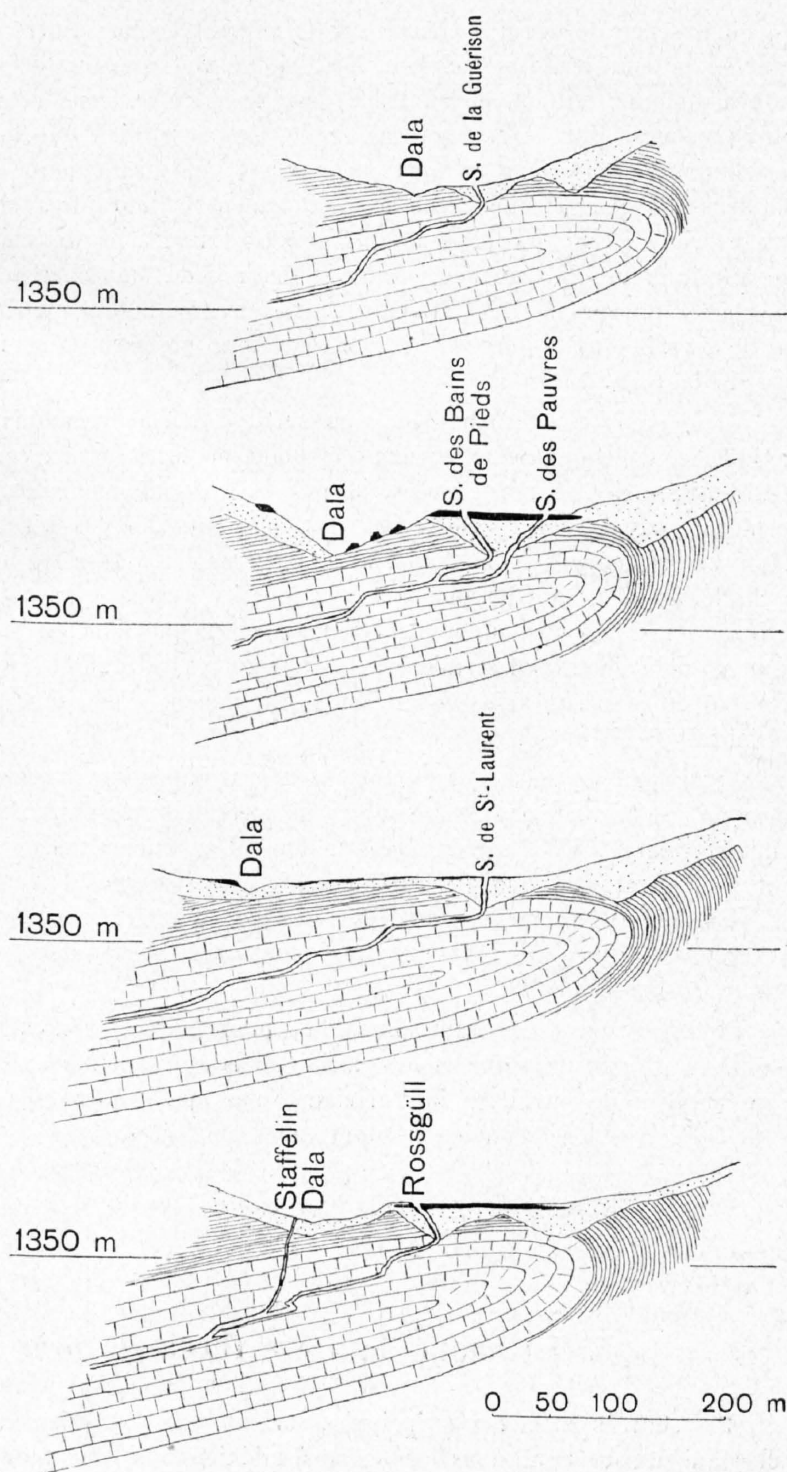


Fig. 2. Coupes géologiques montrant le synclinal bajocien, la vallée épigénétique de la Dala et passant par les principales sources thermales.

En noir le tuf; en pointillé le glaciaire; en hachure les schistes aaléniens; en croisé le calcaire du Bajocien.

La Dala s'écoule entre des pentes de roches en place, soit des schistes argileux aaléniens, dès la prise du canal de l'usine électrique jusqu'au pont de la Guérison en amont. De là, les schistes n'occupent plus que le versant droit jusqu'à l'entrée de la gorge, en aval de la cascade, où les parois qui encaissent le cours d'eau des deux côtés sont formées par les calcaires à entroques du Bajocien.

L'absence de paroi rocheuse sur le versant gauche, entre le débouché de cette gorge et le Pont de la source de la Guérison, où l'on ne voit que du terrain glaciaire, nous montre que la Dala abandonne ici son ancien tracé pour prendre le tracé actuel. En effet, puisqu'il manque la paroi rocheuse sur la rive gauche, cela démontre bien que le terrain erratique remplit en ces lieux un territoire dont le fond rocheux est plus profond que le lit actuel. On pourrait se demander si le glaciaire ne cache pas simplement la muraille rocheuse et si celle-ci ne pourrait pas être retrouvée par une tranchée. Un petit torrent, le Manschetbach, joue ici le rôle de l'outil qui aurait creusé la tranchée. Dans le thalweg du Manschetbach il n'y a aucune trace de roche en place. Le versant de la Dala, jusqu'à environ 200 m au-dessus du lit, est entièrement formé par le terrain quaternaire. Nous pouvons donc préciser et connaître la largeur de l'ancien thalweg de la Dala.

Il ne nous est pas possible, à cause de l'énorme accumulation de terrain erratique, en aval de Loèche, de connaître exactement le point où le lit actuel coupe l'ancien lit interglaciaire, mais la disposition des sources élevées, jusqu'à la Rossgüll, me laisse croire que c'est non loin de cette dernière source que le croisement des deux lits doit se faire, à moins qu'il y ait deux croisements correspondant à deux anciens lits. Presque en face de la Rossgüll se trouve la source dite la Staffelin; or il est singulier que cette petite source apparaisse à quelques mètres au-dessus de la Dala, dans l'éboulis. Cela me laisse supposer que l'ancien lit interglaciaire du torrent se continue au delà de la Dala; qu'entre la Rossgüll et la Staffelin, le lit actuel, qui ne coule pas dans la roche en place, ne fait que croiser le lit ancien. C'est donc en aval de la Staffelin que la Dala rejoindrait le lit ancien.

Quoi qu'il en soit de ce point à peu près impossible à résoudre, nous comprenons maintenant pourquoi les grandes sources chaudes qui sortent du glaciaire apparaissent à un niveau supérieur à celui du torrent. Elles sortent dans le fond d'un ancien thalweg comblé, dont les parois rocheuses sont taillées dans les schistes aaléniens. La pression que doivent vaincre ces sources ascendantes est plus faible directement au-dessus de leur point d'émergence, dans le roc, que latéralement vers la Dala. Elles peuvent en conséquence s'élever au-dessus du niveau habituel de toutes les sources rocheuses.

Nous verrons cependant plus loin qu'un autre phénomène a facilité jusqu'à nos jours la persistance des sources thermales glaciaires dans les points où nous les voyons apparaître et que le phénomène de surimposition glaciaire n'est pas le seul à avoir ainsi localisé ces sources loin de la Dala et à des altitudes si supérieures au torrent.

5. La nappe aquifère thermale près de la surface.

Les sources rocheuses principales sortent sans exception du calcaire à entroques du Bajocien. Celles qui apparaissent dans les schistes aaléniens sont plus faibles, ce ne sont que des filets d'eau; on ne les voit qu'entre Loèche et le pont des sources de la Guérison. Les sources H, I, K, L sont en effet insignifiantes et leur température est basse. Les sources M, seules, sont plus importantes, à température basse également. L'absence de dépôt rouge laisse croire que ces sources M ont une origine spéciale.

Est-ce que les calcaires du Bajocien renferment la nappe aquifère ou bien est-ce par simple coïncidence que les sources qui sortent dans la Dala en amont de Loèche apparaissent dans ce Bajocien parce que seul ce terrain y existe ?

Aussi embarrassantes que sont ces questions, il me semble cependant que l'on peut y répondre.

C'est un phénomène souvent observé dans la perforation des grands tunnels — et le souterrain du Simplon l'a en particulier bien montré — que des eaux filoniennes mobiles, à haute température, existent en profondeur alors qu'elles sont totalement absentes à la surface du pays. On doit donc admettre que des masses montantes d'eau chaude, qui ne sont pas thermales dans leur milieu, parce qu'elles ont la température de la roche, se refroidissent petit à petit en arrivant dans les zones plus froides de la lithosphère.

Ici, les sources thermales de la région sont incontestablement montantes. La position seule des sources glaciaires de la Guérison, des Pauvres, du Bain de pieds, de St-Laurent et de la Rossgüll en est la preuve. D'autre part, toutes les sources analysées, ainsi que nous le verrons, sont fortement chargées de sulfate de chaux. Elles doivent donc lécher quelque part le Trias, seul terrain gypsifère du pays.

Ceci acquis, examinons la position tectonique des sources rocheuses. Dans un mémoire, en cours de rédaction, qui sera le texte explicatif de la Carte géologique que j'ai publiée en 1911, on trouvera une description très détaillée des lieux, mais il importe, pour les besoins de notre discussion relative aux sources, que nous possédions un aperçu très rapide des dislocations du territoire.

En premier lieu, toute hypothèse faisant intervenir une faille ou une diaclase le long de l'affleurement, de laquelle l'eau jaillirait (à la surface ou dans l'ancien lit glaciaire) est à rejeter. Il n'y a aucune cassure dans la vallée de la Dala, cassure qui devrait suivre sensiblement la Dala et son ancien lit glaciaire. Des deux côtés du thalweg rocheux du torrent, il y a correspondance absolue des couches.

L'ensemble des plis de la région présente des axes obliques sur l'horizontale. Les plis montent du SW vers le NE. C'est cette remontée axiale bien connue qui fait apparaître au jour le substratum cristallin du massif de l'Aar.

Dans le massif du Torrenthorn, ces plis sont simplement déjetés. Mais leurs fronts de Dogger et de Malm dépassent peu à peu l'horizontale et dans le massif du Balmhorn ils sont plongeants.

Il est aisé de montrer que toutes les sources rocheuses visibles sortent normalement du Bajocien. Ce terrain doit être considéré comme constituant la nappe aquifère thermique. L'Aalénien est imperméable. Les petites sources que nous y voyons sont à considérer comme des filets dérivés à travers ces schistes dans la zone atteinte par la métasomatose.

Ce Bajocien forme un synclinal plongeant enveloppé par les schistes aaléniens.

Pour se rendre compte de ce phénomène, il n'y a qu'à pénétrer dans la vallée de la Dala à côté de la cascade, en amont de Loèche-les-Bains. On voit nettement dans la gorge, en regardant vers l'aval, la charnière du pli synclinal. En remontant plus haut dans la vallée, on voit également, en amont de Majing, la même charnière synclinale admirablement dessinée.

La direction de cette charnière synclinale est donc SW-NE. Elle vient comme un tunnel oblique de dessous les hautes régions du Wildstrubel, emprisonnant en elle l'eau thermique qui ne peut en sortir à cause de l'enveloppe aalénienne. Et c'est quand ce pli, par le fait de sa



Fig. 3. Gorges de la Dala, en aval de la Cascade, montrant la charnière synclinale bajocienne.

Croquis pris du pied de la Cascade, vers l'aval.

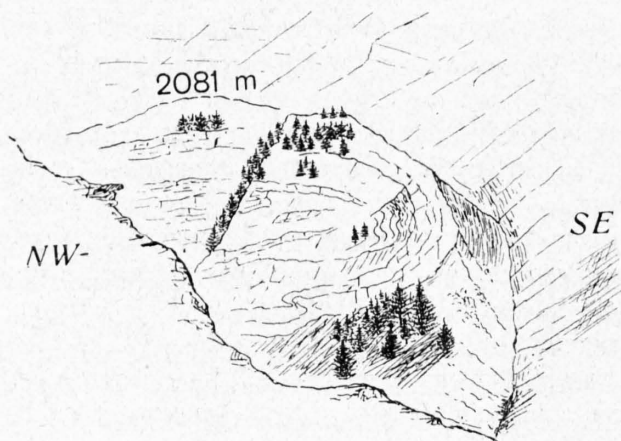


Fig. 4. Le synclinal bajocien en amont des chalets de Majing, sous le point 2081.

Croquis pris de l'Alpe de Clavinen.

remontée axiale, arrive au sol, ou sous un faible revêtement de terrain glaciaire, que les eaux thermales jaillissent.

En effet, quand dans le cours actuel de la Dala, en amont du Pont de la Guérison, le Dogger disparaît sous l'Aalénien et en partie sous le glaciaire, les venues d'eau chaudes sont insignifiantes dans la partie de thalweg actuel creusé dans l'Aalénien.

Au contraire, l'abondance des eaux thermales dans l'ancienne vallée interglaciaire, nous autorise à croire que le lit rocheux est taillé dans le calcaire bajocien.

Ainsi si les grosses sources thermales de Loèche sont localisées à Loèche, au-dessus

du niveau de la Dala, il y a pour cela les raisons suivantes :

- 1° Existence d'un ancien thalweg ;
- 2° Présence du calcaire bajocien au fond de cet ancien thalweg ;
- 3° Région la plus basse de la nappe aquifère libérée de son substratum aalénien imperméable.

Il est évident que lorsque la charnière bajocienne, gorgée d'eau chaude, arrive si près de la surface elle doit débiter presque toute l'eau qu'elle contient.

Ainsi toutes les sources thermales de la haute vallée de la Dala ne peuvent être considérées que comme les trop-pleins de la nappe thermique souterraine, qui n'arrive pas à se vider en entier par les griffons les plus bas en altitude.

C'est sans doute ce qui explique les variations de position et de débit que j'ai observées dans les hautes sources rocheuses. A l'W de Loèche, le manteau d'Aalénien qui recouvre le synclinal bajocien devient rapidement si épais que seule la petite source, dite la Staffelin, a pu trouver un passage, à moins qu'elle ne soit une dérivation d'un filon profond de la Rossgüll, au fond de l'ancienne vallée interglaciaire que j'ai supposé se prolonger de l'autre côté de la Dala. Mais cette source si modeste, depuis que nous en avons des descriptions, me laisse plutôt croire que son débit si faible, qui persiste, est dû au fait déterminé par la difficulté qu'a l'eau chaude de traverser un coussinet trop épais d'Aalénien.

Si l'on faisait donc des sondages dans la direction de la charnière du pli bajocien, à Stafelzug, on pourrait sécher les grosses sources de Loèche-les-Bains.

* * *

Dans leur montée vers la surface, les sources qui sortent de l'ancien lit comblé par le terrain erratique ont à lutter contre l'eau froide qui envahit ordinairement ces dépôts plus ou moins marneux et plus ou moins sableux.

En outre, quand le thalweg ancien se rapproche de l'actuel, la muraille de schistes aaléniens qui les sépare diminue de hauteur et d'épaisseur ; des filons s'échappent ainsi à travers le diaphragme aminci et métasomatósé et apparaissent dans le lit de la Dala en aval du Pont de la Guérison. C'est ce que j'ai dit plus haut à propos des petits suintements.

Les grosses sources M à température peu élevée, sources nettement descendantes, ainsi qu'on peut s'en assurer, car on les voit couler entre le tuf qui les surmonte et la surface des schistes aaléniens, doivent être considérées comme des sources superficielles réchauffées par le

contact avec la nappe thermique qui imbibe le béton glaciaire. Leur composition chimique doit être fort différente de celle des sources profondes thermales. J'en ai le sentiment, car ces sources tièdes M ne déposent pas le fango rouge caractéristique.

Les variations si rapides de quelques dixièmes de degré que montre un des filets de la source du Bain de pieds ne peuvent donc se produire, comme je le supposais plus haut, que par l'apport de venues d'eaux froides.

Une seule source thermique a une position particulière que je ne puis expliquer, c'est la source Q. Elle ne sort pas de la roche en place, mais l'Aalénien ne doit pas être très éloigné. Elle aussi doit être fortement mélangée à de l'eau étrangère.

6. Arguments tirés des dépôts de tuf.

Les sources thermales ont déposé deux masses de tuf formant deux terrasses, l'une, l'Obere Maressen, est celle qui se trouve au-dessus de l'Hôtel des Alpes et sur laquelle sortent les sources du Bain de pieds et des Pauvres; l'autre, l'Untere Maressen, située au-dessous du village des hôtels et à l'extrémité de laquelle se trouve la source dite la Rossgüll.

Des coquilles subfossiles se trouvent dans ces tufs. *Engelhardt* signale la présence de *Helix pomatia*, *Planorbis rotundus*, *Ancylus fluviatilis* et une limnée.

Ces dépôts se forment encore de nos jours, ainsi qu'on peut le constater le long du ruisseau de la Rossgüll et près de la source du Bain de pieds.

Le tuf de la terrasse supérieure forme une corniche qui domine la Dala. Cette corniche s'est affaissée, ce qui détermine quelques petites grottes ou abris sous roche. De gros blocs ont glissé jusque dans le lit du torrent.

Ces tufs reposent tantôt sur les schistes aaléniens, ce que l'on peut voir près des sources M, tantôt et surtout sur la boue et les cailloux glaciaires dont ils empâtent la partie supérieure [39 p. 33]. Derrière l'Hôtel des Alpes, le chemin qui suit le fond du vallon passe sous un pont naturel de tuf. Ici le repos de cette roche sur le glaciaire est très bien visible.

Le dépôt de tuf de la terrasse supérieure se prolonge sur la rive droite de la Dala.

On voit, en effet, un petit fragment de la terrasse de tuf en face de la source du Bain de pieds et deux autres, plus importants, en amont et en aval du pont du village.

Ces faits sont importants.

Puisque la Dala a scié son lit actuel à travers la terrasse de tuf déposée par les sources thermales, le torrent devait, antérieurement au creusement de son lit actuel, couler dans une autre direction.

Mais cette autre direction ne pouvait être celle du lit ancien dont j'ai montré l'existence, car les sources n'auraient pu établir la table de tuf qui repose sur les masses qui comblent cet ancien lit.

En conséquence, la conclusion suivante me paraît s'imposer: antérieurement ou postérieurement à l'existence du thalweg ancien jalonné par les grandes sources thermales, la Dala devait s'écouler par un autre lit que l'actuel.

Mais où peut se trouver cette troisième Dala?

La présence du tuf en face de la source du Bain de pieds, sur la rive droite, empêche de chercher ce cours sur la droite du cours actuel. Il n'y a pas de place pour lui. Nous sommes

donc obligés de le placer sur la gauche de l'ancien lit jalonné par les sources thermales, sous l'épais revêtement morainique qui s'élève vers les premiers escarpements rocheux du massif du Torrenthorn. La morphologie n'en accuse aucune trace, et une difficulté s'élève devant nous : l'absence de dépôt glaciaire sur le tuf de l'Obere Maressen. Sur l'Untere Maressen, il semble que le glaciaire sur le tuf existe, mais on ne peut l'affirmer.

Et pourquoi cette difficulté ?

Puisque le tuf s'est étendu sur la vallée des sources, vallée comblée par le glaciaire, alors que la vallée actuelle n'existait pas, la troisième Dala supposée, également comblée, doit s'être formée postérieurement à la vallée de sources. Elle ne peut s'être formée antérieurement, puis comblée par la moraine de fond, car on ne saurait également plus ou placer la Dala entre le stade de comblement de la vallée des sources (suivi des dépôts de tuf) et le stade actuel.

Or comme la troisième Dala a été comblée par le terrain glaciaire, il est bien singulier qu'aucun débris erratique n'existe sur le tuf. Il est vrai que ce n'est pas une nécessité, mais ce serait une preuve péremptoire que d'en trouver quelque peu.

Une hypothèse peut venir à notre secours. Il se peut que cette troisième Dala n'ait pas été recouverte par le glacier et comblée par les matériaux poussés par celui-ci. Elle peut s'être comblée par un vaste glissement de terrain glaciaire dont la masse aurait, à partir du Pont de la Guérison, chassé la Dala dans sa position actuelle. Ainsi s'expliquerait l'absence de terrain glaciaire sur la terrasse de tuf. Un glissement semblable est connu, peut-être dernière manifestation du plus grand glissement. Il a couvert deux des sources sur trois qui arrivaient au Bain des Pauvres. Les deux filons actuels constituent, d'après *Grillet*, la source dite *Vomitive* par *Natterer*, à moins que ces deux filons soient deux des sources citées par *Natterer*. En tout cas l'une des trois sources doit avoir disparu, par suite d'un éboulement, entre 1770 (*Natterer*) et 1783 (*Razoumowski*).

Si les arguments tirés de l'existence du tuf des deux côtés de la Dala actuelle nous obligent pour ainsi dire à adopter l'existence d'un troisième lit du torrent, on voit cependant que nous sommes embarrassés pour situer ce troisième thalweg dans l'espace et dans le temps. D'autres vicissitudes ont dû dans la suite des temps exercer leurs effets sur les sources. Les modifications les plus récentes sont déjà assez compliquées à éclairer pour que l'on ne puisse jamais savoir ce qui fut antérieur.

7. La composition chimique des sources et leurs dépôts.

Les analyses des sources thermales de Loèche ont été faites à réitérées reprises et depuis des temps fort anciens. *Munster* en 1543, *Collinus* en 1569, *Fabricius Hildanus* en 1629, *Scheuchzer* en 1708, *Natterer* en 1769, *Razoumowski* en 1783, *Morell* en 1788 et *Develay* en 1748 ont cherché à se faire une opinion sur la composition chimique de ces eaux. Plus tard viennent, en 1828, les belles recherches de *Brunner* et *Pagenstecher* ordonnées par la Société helvétique des Sciences naturelles. En 1844, de *Fellenberg* fait part de son analyse de la source de la Guérison et en 1845, *Pyrame Morin* donne, dans les Annales des mines, les résultats de ses recherches détaillées sur la source de St-Laurent.

Grillet, dans son excellent ouvrage a reproduit le rapport de *Morin* [37 p. 61 à 89]. En 1879, le chimiste *Cotton* de Lyon a fait une nouvelle analyse. Enfin la dernière analyse connue est celle du professeur *Lunge* en 1885 [41].

A. Analyse de l'eau.

Analyses de la source de St-Laurent pour 1000 g d'eau.

	1845	1879		1845	1879
	Morin	Cotton		Morin	Cotton
Acide sulfurique	1.1384	1.105	Chaux	0.6340	0.763
„ carbonique	0.0113	0.008	Strontiane	0.0028	—
„ silicique	0.0360	0.040	Magnésie	0.1100	0.063
Chlore	0.0031	0.0025	Potasse	0.0250	0.018
Acide phosphorique	traces	—	Soude	0.0220	0.134
„ azotique	traces	—	Ammoniac	traces	traces
Alumine	traces	traces	Arsénic (As ² O ³)	—	0.00015
Protoxyde de fer	0.00633	0.007			

Analyses de l'eau de la source de St-Laurent et de celle de la Guérison, pour 1000 g d'eau.

	Guérison 1844 de Fellenberg	St-Laurent		
		1829	1845	1885
		Brunner	Morin	Lunge
Sulfate de calcium	1.5385	1.4792	1.5200	1.42866
„ de strontium	0.0035	0.0037	0.0048	0.00194
„ de magnésium	0.2583	0.2298	0.3034	0.26912
„ de sodium	0.0637	0.0587	0.0502	0.08715
„ de potassium	0.0155	—	0.0336	—
Carbonate de calcium	0.0537	0.0412	0.0053	0.09650
„ de magnésium	0.0107	0.00125	0.0096	0.02066
„ de manganèse	—	—	—	0.00024
„ ferreux	—	—	0.0103	0.00011
Chlorure de sodium	0.0083	0.0063	—	0.00121
„ de potassium	—	—	0.0065	0.01127
„ de lithium	—	—	—	0.00037
„ de calcium	traces	traces	—	—
„ d'ammonium	—	—	traces	0.00017
„ de magnésium	0.0211	0.0071	—	—
Alumine	—	—	traces	0.00051
Silice	0.0334	0.0344	0.0360	0.03020
Salpêtre	traces	traces	—	—
Iode	traces	0.0024	—	—
	2.0067	1.86305	1.9897	1.94811

H. T. [40 p. 21] mentionne à propos de l'arsenic: „Il n'a pas été possible de doser l'arsenic autrement que par comparaison des taches, en opérant sur le résidu de 10 litres d'eau. Mais les dépôts, surtout les plus ferrugineux, ainsi que les boues, sont beaucoup plus chargées de ce métalloïde. D'après cela, il y a lieu de croire que l'arsenic se trouve combiné au fer.

Le dosage de l'arsenic nous a donné les résultats suivants:

1° Dans les dépôts blancs des tuyaux	0.004 par 100 g de dépôt
2° „ „ „ rouges ferrugineux	0.037 „ 100 „ „ „
3° „ „ „ boues	0.00 „ 100 „ „ „

„C'est M. J. F. Payen, qui constata le premier dans les dépôts des sources la présence de l'arsenic. M. le professeur Oetli, de Lausanne, y a aussi trouvé des traces de ce métalloïde.“

J'ajoute qu'un de mes élèves a constaté la présence du baryum dans les dépôts rouges de la source de St-Laurent.

B. Analyse des gaz.

De nombreuses bulles de gaz s'échappent des sources de St-Laurent, des Pauvres, du Bain de pieds et de la Rossgüll. Ceux de la source de St-Laurent ont été étudiés par Morin.

Voici la composition d'après ce chimiste:

1° Gaz qui s'échappe en grosses bulles, composition centésimale, en volumes, des gaz spontanés secs:

Acide carbonique	5.174
Oxygène	1.359
Azote	93.467

2° Gaz dissous dans l'eau, dégagé à la température de 100°.

Pour 1000 g d'eau:

Gaz total	14.9615 cm ³ = 0.0207
composé par:	
Acide carbonique	2.3890 „ = 0.0047
Oxygène	1.0545 „ = 0.0015
Azote	11.5180 „ = 0.0145

Depuis quelques années l'attention des physiciens et des chimistes a été attirée sur la présence des gaz rares (argon, néon, hélium, krypton et xénon) contenus dans les gaz qui se dégagent spontanément des sources thermales. C'est à Ch. Moureu que l'on doit la démonstration de l'existence de la totalité de ces gaz rares dans un grand nombre de sources. Avant lui, l'argon seul avait été découvert; l'hélium n'avait pu être caractérisé et le néon n'avait été signalé que dans une seule source. Ces gaz sont dissous dans l'azote et il n'y a aucun doute qu'ils seront reconnus un jour ou l'autre dans les gaz spontanés que rejettent en abondance les sources de Loèche. L'oxygène signalé par Morin est assez douteux. Les recherches délicates faites par Moureu montrent que ce gaz paraît souvent introduit accidentellement durant la prise, à la source, des dégagements gazeux¹⁾.

Ainsi donc de nouvelles recherches s'imposent.

C. Matières déposées par les sources.

Les sources thermales déposent plusieurs produits:

1° Tuf. — Les sources actuelles du Bain de pieds et de la Rossgüll déposent du tuf calcaire en très petite quantité. Il semble que l'activité du dépôt ait été plus intense anciennement à en

¹⁾ Ch. Moureu, Recherches sur les gaz rares des sources thermales. Leurs enseignements concernant la radio-activité et la physique du Globe (Paris), Revue scientifique, 49^e année, 15 juillet 1911.

juger d'après les affleurements de l'Obere Maressen, soit de la terrasse sur laquelle sortent les sources du Bain de pieds et des Pauvres.

La composition chimique des sources aurait donc varié dans le temps.

2° Limon ardoisier. — L'eau des sources n'est pas toujours d'une limpidité parfaite à cause d'un limon très ténu en suspension dans le liquide. C'est la source du Bain de pieds qui colmate le plus. Le fond de la chambre de captage est rempli par un limon abondant, gris, ardoisier, rappelant absolument les schistes aaléniens réduits en poudre.

Ces matières en suspension sont parfois assez abondantes pour rendre l'eau opaque. Ces troubles sont irréguliers. Ils ne durent que quelques heures ou quelques jours. La température des sources reste constante malgré ces variations dans la teneur des matières en suspension.

3° Gypse. — Dans les tuyaux, ou bien près des points d'émergence, il se dépose de petits cristaux de gypse. En 1904, à la suite d'un travail de réparation des canalisations qui conduisent l'eau de la source de St-Laurent aux Grands Bains, j'ai pu récolter de superbes efflorescences gypseuses qui se trouvaient dans des tuyaux en cuivre.

4° Fango rouge. — Toutes les sources thermales, à part quelques exceptions, déposent par refroidissement une boue rouge qui paraît dissoute dans l'eau. Ces dépôts rouges sont extrêmement caractéristiques. Ce sont eux qui colorent les tufs déposés par les sources. Quand j'ai parcouru le thalweg de la Dala supérieure, ces dépôts rouges m'ont permis de reconnaître à distance la présence des sources chaudes.

Morin a analysé ce fango. Il y a reconnu la présence du peroxyde de fer, du carbonate de chaux et de magnésie, de la silice, de l'alumine et du protoxyde de fer.

D. Radio-activité.

J. von Sury a publié en 1907 les résultats de ses recherches faites en laboratoire sur la radio-activité des eaux des sources de St-Laurent et de la Rossgüll. J'ai moi-même, en 1904, fait sur place quelques recherches de ce genre, mais purement qualitatives.

Von Sury accuse pour les sources de St-Laurent une radio-activité de 0.26×10^{-3} et pour la Rossgüll la faible valeur de 0.02.

On sait que les sources thermales présentent en moyenne une radio-activité beaucoup plus élevée que les sources froides, à l'exception peut-être de quelques sources granitiques froides.

Les valeurs trouvées par *Sury*, sans que nous voulions les critiquer — je me déclare incompétant — me paraissent cependant extraordinairement faibles, parce que les eaux déposent un fango particulièrement radio-actif.

On sait que l'émanation du radium — qui est celle de la généralité des sources — se détruit très rapidement. Au bout d'environ 4 jours l'émanation se trouve réduite de moitié. Or le seul fait que les recherches de *von Sury* n'ont pas été effectuées à l'émergence enlève un peu de leur intérêt.

Il serait donc fort intéressant de faire, à Loèche même, de nouvelles recherches; il y aurait à examiner en particulier les rapports qui peuvent exister entre la thermalité et la puissance radio-active, entre cette radio-activité et la teneur en fango hydrochimique.

On pourrait tirer de ces valeurs des conclusions certainement intéressantes pour le géologue.

* * *

En 1904, le professeur *Gockel* de l'Université de Fribourg en Suisse a reconnu la présence de corps radio-actifs dans les dépôts des sources. J'ai fait la même constatation la même année, sans connaître les recherches de mon collègue.

D'après mon enquête, le fango gris si abondant dans la chambre de captage de la source du Bain de pieds devait être inactif, ou du moins l'était avec mes moyens de recherches et mon inexpérience. Le fango hydrochimique seul était actif.

Von Sury, élève du professeur *Gockel*, a également étudié le fango de Loèche et a déterminé sa valeur à 0.023 (1 = sulfate d'urane potassique).

Ne sachant pas exactement où ce fango étudié par *von Sury* avait été récolté et trouvant la valeur un peu élevée, j'ai prié le professeur *Gockel* de faire une nouvelle recherche sur des matériaux que j'avais ramassés. Mon confrère a bien voulu faire ces recherches et il a poussé son amabilité jusqu'à me donner également les résultats de ses mesures sur le granit et les roches sédimentaires rencontrées au tunnel du Lötschberg.

Voici les valeurs déterminées par le professeur *Gockel*:

Matière	Unités électriques pour 30 g		Unités en sulfate d'urane potassique	
	sec	calciné	sec	calciné
Fango gris de la source du Bain de pieds récolté en 1904	0.415×10^{-3}	0.0143×10^{-3}	0.000180	0.000062
Fango rouge de la source des Pauvres récolté en 1911	1.26×10^{-3}	—	0.0054	—
Fango rouge de la source de la Guérison récolté en 1906	1.94×10^{-3}	1.91×10^{-3}	0.0083	0.0082

Il résulte de ces chiffres que le fango gris est extrêmement peu actif; son activité est même probablement due à un léger apport de fango rouge qui se dépose évidemment aussi, mais en quantité relativement très faible, dans les dépôts de la source du Bain de pieds. Ce fango gris, si peu actif, et que nous savons fait de schistes aaléniens, c'est-à-dire d'anciennes argiles, nous montre déjà que les roches sédimentaires de la région doivent être — comme elles le sont en général, ainsi que l'a démontré également le professeur *Gockel* — très peu actives.

La radio-activité des dépôts est donc localisée dans le fango rouge hydrochimique dont l'origine nous est inconnue. Il est intéressant de noter que son activité est double de celle du fango de Battaglia, ou fango des pharmaciens, qui a servi ou sert de terme de comparaison.

Nous verrons plus loin les conclusions importantes que je crois pouvoir tirer en m'appuyant en grande partie sur les chiffres déterminés par l'éminent spécialiste de la faculté des sciences de l'Université de Fribourg en Suisse.

8. Hypothèses sur l'alimentation de la nappe thermique.

Près de l'émergence, nous savons d'où vient l'eau thermique. Elle monte en suivant un pli synclinal de Bajocien, dont la direction est SW-NE sur la ligne des sources. Mais en examinant de plus près la trace de la charnière, on voit que le pli des sources est légèrement arqué, la bissectrice de cet angle curviligne est sensiblement dirigé SE-NW.

Si au lieu de considérer le pli des sources nous examinons un des plis plus élevés qui, par leur empilement, forment la haute muraille du versant droit de la vallée, nous constatons que, de NE-SW, ces plis plus élevés deviennent N-S entre Larschi et Miles, sous les hauteurs du Daubenhorn.

Que signifie cette entrée en matière dans un paragraphe qui roulera sur des hypothèses?

Tout d'abord il est à considérer que si les plis plus élevés que l'on peut suivre sur le sol décrivent cet arc, il doit en être de même du pli plus profond thermal dont on ne voit affleurer qu'un tronçon, il est vrai, mais déjà légèrement arqué.

Or si l'eau montante était exclusivement emprisonnée dans la charnière du pli bajocien, elle devrait venir peu à peu du S, soit de la direction de la vallée du Rhône, s'infléchir vers le NE et émerger.

C'est là une possibilité que, à première vue, on est porté à rejeter, tant il semble peu plausible que l'eau thermale puisse provenir d'une région plus basse en altitude, où, en conséquence, les isogéothermes doivent être très surbaissés, alors que dans le voisinage se dressent de hauts massifs où les isogéothermes doivent être surélevés. Ces eaux thermales alpestres, qui sortent toujours au pied des hauts massifs, semblent nous dire que le haut massif est toujours nécessaire pour leur existence; on ne cherche pas plus loin, oubliant que ce n'est peut-être là qu'une coïncidence dans bien des cas, car il y a beaucoup de chances pour que dans un pays de montagnes une source se trouve au pied d'une haute région quelconque. Nous ne devons donc pas *a priori* rejeter l'hypothèse de la venue du sud. Qui sait quel chemin sinueux peut parcourir la goutte d'eau tombée du ciel, qui, disparaissant dans le sol, ressort minéralisée et chaude à Loèche?

C'est justement ce que nous voulons savoir malgré les difficultés nombreuses qui se dressent devant nous.

Cette coïncidence des sources thermales avec le lieu de plus grande courbure, en plan, de l'axe des plis n'est probablement pas fortuite. Il se peut qu'elle soit due au hasard, mais je ne le pense pas.

Il est évident que lorsqu'un pli couché avance, et avance en un front arqué, que cet arc soit dû à un retard de marche des extrémités du pli retenues par un obstacle quelconque, ou que le lieu de plus petite courbure de l'axe soit dû à un appel du vide plus intense que dans le reste du pli, il n'en reste pas moins, dans un cas comme dans l'autre, que la région de plus petite courbure doit travailler en extension. La masse cherche à occuper un développement frontal de plus en plus grand au fur et à mesure que l'arc s'exagère.

En conséquence, travaillant en extension, il est inévitable que le pli doit se diaclaser, et ces diaclases, s'il y a homogénéité dans la masse, doivent être perpendiculaires à l'axe du pli et d'autant plus nombreuses qu'elles se rapprochent du lieu de plus petite courbure de l'axe du pli. C'est par cette théorie que j'ai expliqué jadis la pulvérisation des nappes qui ont donné lieu aux phénomènes des Klippes karpathiques.

Une nouvelle cause viendrait nous expliquer pourquoi les sources thermales de Loèche sont plus nourries à Loèche même que dans le cours de la Dala en amont.

J'ai dit plus haut que les sources devaient être plus abondantes là où la pression qui s'exerce sur la nappe thermale vient brusquement à cesser, c'est-à-dire au point où la charnière du pli thermal sort de terre ou bien apparaît sous une couche de faible épaisseur de terrain glaciaire.

Or, en plus, le lieu de plus petite courbure de l'axe du pli thermal est justement à Loèche. Là doivent converger le nombre maximum de diaclases du pli arqué.

L'émergence thermale est donc facilitée par deux phénomènes que le *hasard seul* a fait coïncider.

Ce hasard a fait coïncider une vallée profonde dont le thalweg vient creuser un pli thermal juste au point où il peut contenir la charge la plus grande d'eau chaude.

Si nous trouvons si rarement, dans les régions plissées et fortement érodées, des sources thermales abondantes en nombre et en débit, c'est qu'il faut un concours de causes si diverses que celles-ci doivent très rarement se trouver réunies. L'exemple que nous analysons est à ce propos fort instructif.

Mais un troisième phénomène fait encore que les plus grosses sources sont à Loèche, et que les sources de la haute vallée de la Dala sont plus faibles.

La théorie par diaclases que je viens d'exposer nous amène à la certitude presque absolue que la localisation des venues thermales dans la charnière synclinale du pli bajocien n'implique pas la nécessité de voir jouer à cette charnière le rôle d'un tuyau étanche.

C'est par de multiples diaclases perpendiculaires à l'axe de la charnière que l'eau nourrit cette charnière. L'eau chaude par sa marche ascendante forcée s'emprisonne dans cette charnière parce que celle-ci est enveloppée par les schistes aaléniens imperméables.

En outre, les lignes d'extension déterminées par la courbure en plan du pli n'ont pu se traduire que par des diaclases dans les roches calcaires, tandis que dans les masses molles des schistes aaléniens elles n'ont pu produire des brisures. L'étanchéité de ces masses de schistes argileux n'a pas été modifiée par l'extension qu'elles ont subie.

Supposons que le pli, au lieu d'être incliné sur son axe, soit horizontal, et que la charnière soit entamée par l'érosion d'une manière uniforme. On verrait alors sortir un grand nombre de sources dont les débits ne seraient dépendants que de l'ouverture plus ou moins grande des diaclases.

Mais l'inclinaison du pli vient jouer ici un rôle énorme. Le fait qu'il est incliné nous amène à la pensée que les diaclases ne peuvent être rigoureusement perpendiculaires et parallèles entre elles. Il y a plus de raisons de croire

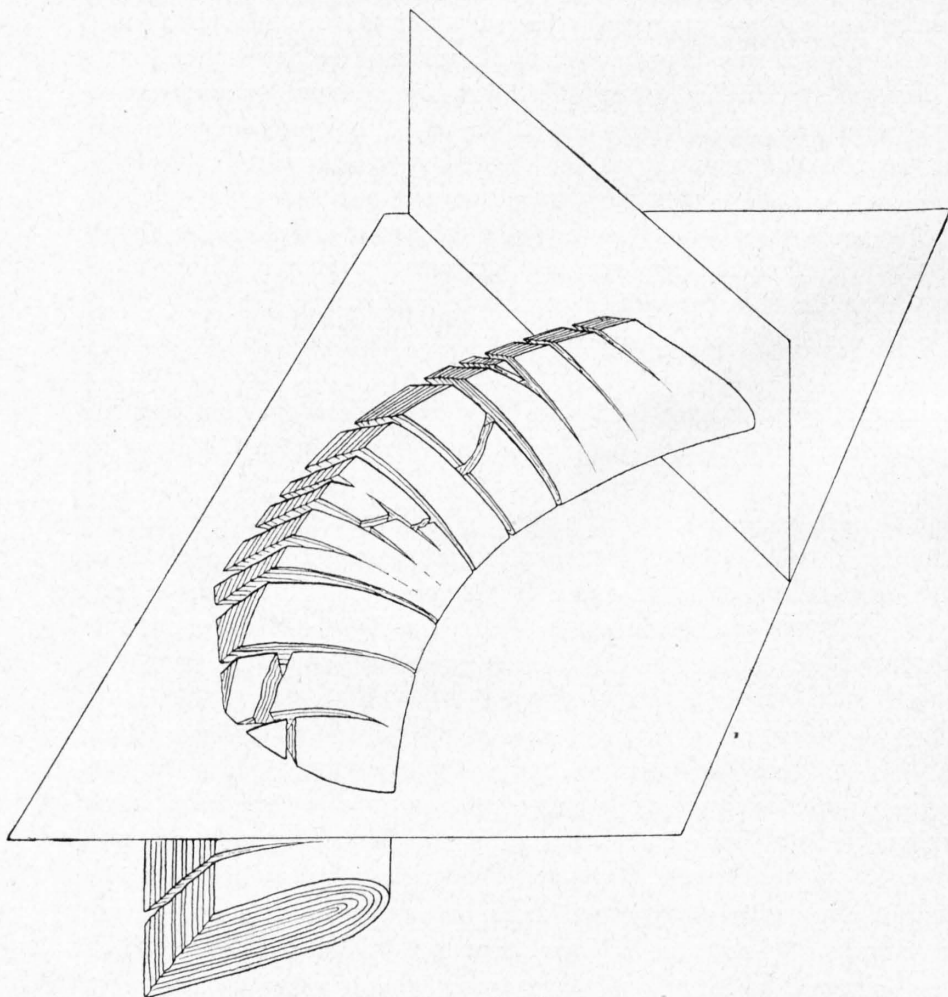


Fig. 5.

Le synclinal arqué et plongeant de bajocien avec les diaclases transversales.

Le plan horizontal peut représenter la surface topographique en aval des grosses sources et en conséquence le plan au-dessous duquel le pli est englobé dans les schistes imperméables aaléniens, ce qui empêche l'eau d'en sortir.

qu'il n'existe pas qu'un seul système de diaclases, mais au contraire plusieurs qui s'entrecroisent. C'est du reste un phénomène très fréquent que ce croisement des diaclases.

Par conséquent, celles qui, gorgées d'eau, ont à supporter la moindre pression descendante doivent s'évider avec la plus grande rapidité. Une perte de charge doit se faire sentir sur toute la nappe aquifère en pression et les diaclases qui convergent vers ces lieux de moindre pression doivent inévitablement servir de chemin à l'eau montante.

En profondeur doit donc se passer le phénomène suivant. Dans des lieux très lointains l'eau traîne sur des surfaces triasiques où elle se minéralise. C'est une nappe d'imbibition. L'eau n'est pas encore filonienne. Elle monte, et comme l'appel dû aux variations de pression extérieure ne se fait pas encore sentir, cette montée se fait dans le pli de Bajocien selon les plans des généra-

trices de la surface (avec lesquelles doivent coïncider les principales diaclases) que représentent les flancs du pli. Mais peu à peu les diaclases qui aboutissent dans les altitudes les plus basses de l'affleurement de la charnière étant privilégiées, elles attirent à elles la presque totalité de l'eau. Les diaclases de second ordre qui les croisent perdent de leur charge et si elles pouvaient tout débiter, peu à peu toute l'eau serait attirée vers la diaclase qui en affleurement est la plus privilégiée par son ouverture et par son altitude la plus basse.

* * *

La théorie des diaclases que nous venons de lire nous montre que l'eau, à partir d'une certaine profondeur, doit suivre un système rayonné de diaclases dont les plus basses sont dirigées à peu près de l'W à l'E et les plus hautes à peu près du NW au SE.

En examinant la coupe géologique Pl. II construite en nous repérant sur la profonde vallée transversale de Gastern, nous voyons que le Bajocien accompagné par le Bathonien, calcaire également, descendent à environ 3,5 kilomètres des émergences. Et c'est déjà bien de ces distances que l'eau doit venir, car la bande bajocienne et bathonienne est comprise très loin en profondeur entre deux zones imperméables : les schistes argileux calloviens et aaléniens.

Mais une objection se présente immédiatement. Puisque ces masses de terrains calcaires du Dogger sont enveloppées par des terrains imperméables, comment l'eau y entre-t-elle de la profondeur ?

La réponse est aisée.

En effet, la coupe géologique, que nous montre la profonde vallée de Gastern, permet de constater que près du pli frontal de Dogger, le Callovien qui le sépare du Malm est absent. Or le Malm est également calcaire, ainsi donc sur un certain espace l'eau chaude des grandes profondeurs peut pénétrer dans la masse de Dogger qui se trouve être le chemin le plus direct pour arriver à la surface.

Cette difficulté éloignée, par des faits et non par une pure explication subjective, nous pouvons continuer notre enquête.

L'eau de Loèche présente trois faits chimiques importants qui vont être pour nous comme le fil d'Ariane.

L'eau est fortement sulfatée. Or le seul terrain qui contient du gypse dans la région est le Trias.

L'eau est extrêmement peu chargée de carbonate de chaux.

Enfin l'eau est radioactive et l'une de ses boues plus particulièrement que l'autre.

La faible teneur en calcaire est même fort étonnante. Il est vrai que les analyses chimiques ne permettent pas toujours une comparaison facile parce que le calcul des sels est la plupart du temps fait théoriquement, mais même en admettant un assez grand arbitraire dans les résultats exprimés par les chimistes, on voit cependant par le tableau ci-dessous ¹⁾ en se rapportant particulièrement à l'acide carbonique combiné, que l'eau de Loèche est une des moins calcaires parmi celles qui sortent, comme elle, sur le versant extérieur des vieux massifs cristallins.

La teneur assez élevée en silice ne peut nous guider, car on connaît en pays calcaire des sources plus riches encore en ce corps que celles de Loèche.

Pour le radium, le professeur *Gockel* est venu nous apporter un aide considérable. Notre collègue a étudié la radioactivité d'un grand nombre de roches et soumis particulièrement à l'enquête les roches du tunnel du Lötschberg, perforé à quelques kilomètres de Loèche.

Il se trouve que le granit de Gastern, comme toutes les roches anciennes ignées, possède une radioactivité relativement élevée. Une première valeur publiée par

¹⁾ La composition des sources françaises est extraite de l'ouvrage de *E. Jacquot et Willm.* Les Eaux minérales de la France (Paris, Béranger & C^{ie}). La température de quelques-unes d'entre elles est donnée dans une note de *W. Kilian*: Relations des principales sources thermales du Dauphiné avec la nature géologique du sol.

		Carbonate de chaux	Somme des carbonates	Sulfate de chaux	Somme des sulfates	Acide carbonique libre en % du volume des gaz	Acide carbonique combiné	Hydrogène sulfuré	Température
Alpes Françaises	Suisses { Loèche	0.0053	0.0149	1.520	1.922	5.174	0.0113	—	50.9
	Loèche	0.0965	0.1175	1.428	1.737	—	—	—	50
	Lavey	0.07	?	0.09	?	?	?	?	45
	St-Gervais	1.5555	0.1593	0.958	2.986	—	0.1408	—	39.8
	Allevard	0.2944	0.3168	0.226	0.907	3.06	0.2806	0.247	16.9
	Uriage	0.3180	0.3306	1.051	2.211	4.38	0.2928	0.664	15
	La Ferrière	0.1220	0.1290	0.005	0.133	6.20	?	0.31	25
	La Boutière (Laval)	0.028	0.0370	—	2.175	2.23	?	0.083	21.7
	Domène	0.113	0.120	0.007	1.191	2.70	?	1.17	26
	La Terrasse	0.148	0.181	0.059	0.176	8.3	?	1.70	?
	Corène	0.060	0.145	0.027	0.187	4.9	?	1.52	?
	La Motte (s. de la Dame) .	0.2190	0.2348	1.486	2.343	?	0.2083	—	58-60

le physicien de Fribourg ¹⁾ donnait à ce granit les chiffres suivants, pour 30 grammes de substance :

$$\begin{aligned} \text{brut :} & \quad 0.0174 \times 10^{-3} \\ \text{calciné :} & \quad 0.0155 \times 10^{-3} \end{aligned}$$

Au kilomètre 7.7 du portail nord du tunnel, notre éminent collègue a rencontré un granit dont l'activité est exceptionnelle. Voici les valeurs qu'il a eu l'amabilité de nous communiquer :

$$\begin{aligned} \text{brut :} & \quad 0.328 \times 10^{-3} \\ \text{calciné :} & \quad 0.225 \times 10^{-3} \end{aligned} \quad \begin{array}{l} \text{ce qui correspond à } 0.00140 \\ 0.00098 \end{array} \left\{ \begin{array}{l} \text{Unités en sulfate} \\ \text{d'urane potassique} \end{array} \right.$$

Cette valeur de 0.225 est une des plus élevées que l'on connaisse dans la série des granits. Elle n'est dépassée que par le microgranit d'Altenberg en Saxe.

D'autre part, M. le professeur *Gockel* ne communique également que les roches sédimentaires du tunnel (soit les calcaires plaquetés du Jurassique supérieur) sont très faiblement actives. Le maximum de leur activité est de 0.01×10^{-3} , soit une activité de l'ordre de celle du fango gris des sources de Loèche, en n'oubliant pas que cette activité un peu plus forte du fango gris est probablement due à la présence d'une proportion très faible de fango rouge.

En outre, on sait par les recherches d'*Elster* et *Geitel* que le gypse et l'anhydrite sont inactifs.

Il découle de ces données que la minéralisation des eaux thermales de Loèche se fait dans des régions géologiquement différentes de composition, ce que l'on pouvait supposer. Mais nous savons maintenant que, dans sa marche souterraine, l'eau doit traverser du Trias où elle puise son sulfate de chaux; nous savons, grâce aux recherches de *Albert Gockel*, qu'elle doit recevoir des eaux qui côtoient ou sortent du batholite granitique de Gastern ou lèchent ses apophyses dans les gneiss, et qui lui donnent les sels de radium; nous savons encore que l'eau thermale ne doit pas séjourner longtemps au voisinage du calcaire, enfin qu'elle doit border les schistes argileux aaléniens imperméables, car elle nous rapporte les débris de ces argiles.

¹⁾ *A. Gockel*. Die Radioaktivität von Gesteinen (Jahrbuch der Radioaktivität und Electronit, 1910, VII. Bd., p. 487—527).

Voilà quatre conditions bien définies.

Examinons maintenant la constitution géologique de la région (Coupe Pl. II).

Le batholite granitique de Gastern s'enfonce comme une immense coupole, comme un énorme ellipsoïde, sous les massifs du Torrenthorn et du Balmhorn. L'arête culminante de ce grand dôme sur lequel se moulent les terrains sédimentaires passe sensiblement selon l'axe de la haute vallée longitudinale de la Dala.

Le Trias est connu dans trois régions. Il forme de grandes étendues dans les synclinaux cristallins du massif du Torrenthorn. Le gypse n'y existe pas, en surface du moins. Un deuxième gîte de Trias gypseux a été découvert lors de la perforation du tunnel du Lötschberg. Il se trouve en avant, soit sur le côté nord du batholite granitique. J'ai indiqué ce Trias gypseux dans la coupe géologique qui accompagne ce mémoire. Enfin, en avant des nappes helvétiques, le Trias, souvent gypseux, est bien connu dans la zone interne des Préalpes.

Auquel des trois Trias se minéralisent en sulfate de chaux les eaux de Loèche, à l'un d'eux, à deux ou peut être aux trois?

Si le Trias gypseux n'apparaît pas dans le massif du Torrenthorn, on peut toutefois admettre son existence en profondeur. En effet, le gypse qui a été rencontré dans le tronçon nord du tunnel du Lötschberg fait partie d'une masse charriée dont la racine ne peut se trouver que dans un coin sédimentaire, de construction très compliquée, situé entre le batholite granitique et la zone méridionale des gneiss. Ce coin a été également traversé par le tunnel du Lötschberg et a montré deux faibles bandes d'anhydrite. Ainsi donc nous pouvons admettre que le sulfate de chaux existe dans les parties profondes invisibles des synclinaux du massif du Torrenthorn.

La coupe géologique montre l'impossibilité de faire venir l'eau gypseuse des Préalpes, tant il y aurait de couches imperméables à traverser.

C'est donc aux deux bandes triasiques situées immédiatement au voisinage nord et sud du batholite granitique que l'on doit attribuer la minéralisation en sulfate des eaux de Loèche.

Tout revient donc à chercher comment l'eau arrive à ces Trias, comment elle en part en se minéralisant de radium en chemin.

Pour atteindre le Trias nord, la marche de l'eau est facile, car ce terrain est recouvert par les immenses masses de calcaire du Jurassique supérieur; des diaclases peuvent en conséquence y conduire l'eau. Celle-ci, minéralisée, longerait la surface du dôme granitique en le remontant grâce à une faible bande connue de calcaire jurassique qui repose sur lui et qui est localement en contact, fait également connu, avec le Dogger du pli thermal.

C'est là une voie relativement simple. Sur la région de la Gemmi existent des bassins fermés dont les résurgences sont inconnues. Le Daubensee s'écoule en particulier par voie souterraine, et bien que j'ai émis l'hypothèse que la résurgence de ce bassin pouvait exister peut-être dans la vallée du Rhône, aux sources de la Tschudana près de Salquenen ¹⁾, tant que la démonstration n'a pas pu être faite on peut tout aussi bien supposer qu'elle se fait à Loèche.

Mais deux arguments me paraissent s'opposer à cette dernière manière de voir.

L'un est très spécieux, il est vrai. On sait par les expériences faites lors de la percée du tunnel du Simplon que les masses calcaires par leurs eaux descendantes jouent le rôle de réfrigérants. Au nord de la masse du gneiss d'Antigorio, la température qui aurait dû être d'environ 35 degrés est tombée au-dessous de 20.

Dans le cas qui nous occupe, la température dans les profondeurs où se trouve le gypse nord devrait être normalement d'une soixantaine de degrés, mais refroidie dans la proportion du Simplon, la température baisserait à 45°. Or la source de St-Laurent avoisine 51°. Il est vrai que ce mode d'argumentation manque un peu de base, aussi je n'insiste pas particulièrement, mais il était utile d'attirer l'attention sur ce point.

¹⁾ *Maurice Lugeon et Elisabeth Jérémie*, Les bassins fermés des Alpes suisses (Bull. Soc. vaud. Sc. nat. Vol. XLVII, p. 544 et Bull. Lab. de Géol. Univ. de Lausanne 1911 N° 17, p. 84).

Le deuxième argument est de beaucoup le plus important; il est même presque péremptoire. Si la grande masse jurassique du massif du Balmhorn formait le bassin collecteur des eaux de Loèche, celles-ci, après un parcours si long à travers des calcaires relativement purs, devraient être beaucoup plus chargées de carbonate de chaux¹⁾. Or nous savons qu'un des caractères des eaux de Loèche est justement d'être très pauvres en carbonate de chaux. Peut-être par la présence d'hydrogène sulfuré en profondeur, provoqué par une réduction des sulfates sous l'influence des schistes riches en matières organiques, et par oxydation de bisulfure d'hydrogène en acide sulfurique par l'oxygène apporté par l'eau descendante, y a-t-il substitution du carbonate dissous en sulfate et mise en liberté de l'acide carbonique des sources. Il serait singulier, si ces réactions se produisaient en profondeur, qu'aucune trace d'hydrogène sulfuré n'arrive à la surface. Or les sources de Loèche n'en présentent aucune trace.

Ainsi donc, quelle que soit la complication du chemin — et quel labyrinthe! — c'est de la zone méridionale de Trias que doivent fort probablement provenir les eaux thermales.

Il est facile à l'eau atmosphérique d'arriver dans ce Trias du versant sud puisque ce terrain y affleure, et dans les régions où il n'affleure pas il est recouvert par le Lias calcaire ou schisteux ou constitué par des grès ou quartzites. Et c'est justement un fait remarquable que de constater le rôle relativement très subordonné que joue le calcaire dans le massif du Torrenthorn.

Les synclinaux triasiques du massif du Torrenthorn s'enfoncent vers le SW. Ils doivent jouer le rôle de collecteurs souterrains. Bien que séparés les uns des autres, ainsi que le montrent la coupe et le stéréogramme géologique (Pl. II) par de vraies murailles de gneiss, les collecteurs doivent nécessairement, à une profondeur qui nous est inconnue, communiquer par débordement les uns avec les autres. On peut en effet admettre que l'eau descendante ayant une difficulté croissante de pénétration finit par engorger complètement les synclinaux triasiques. Il est possible également que l'une seule de ces bandes triasiques méridionales soit active dans l'alimentation de la nappe et que ce soit celle qui borde le massif granitique. Une zone perméable s'offre à l'eau, c'est la bande calcaire accolée au batholite granitique. De même que les coins de gneiss peuvent être débordés, de même il doit en être également du batholite. L'eau contourne celui-ci et arrive à l'extrémité de la charnière anticlinale du pli le plus profond du Dogger et ne peut aller plus loin, arrêtée en avant par les schistes argileux oxfordiens qui couvrent en capuchon le front de l'anticlinal et son flanc normal.

On objectera que dans cette marche l'eau peut s'enfouir dans la bande de calcaire du Malm qui recouvre en bande étroite le massif granitique et aller se perdre dans les grandes masses calcaires du Jurassique supérieur de la nappe du Balmhorn. Comme le fait ne se produit pas, car il ne faut pas oublier que les sources de Loèche en seraient anéanties, il faut que ce Jurassique supérieur, épais de quelques mètres, soit laminé sur une bande ou localement faillé²⁾, ce que j'ai représenté sur la coupe (Pl. II), ou encore que l'eau chaude rencontre la nappe plus froide qui remplit la grande masse de gneiss et que cette muraille d'eau froide oblige l'eau thermique à monter, tout comme au moment des hautes eaux les sources thermales qui sourdent dans l'alluvion d'une vallée sont comprimées et montent plus aisément.

Le batholite granitique est donc, sur un certain parcours, longé par la nappe profonde. De sa surface même, dont la région sud peut être atteinte, ainsi que le montre la coupe géologique, par les eaux de pénétration, s'écoulent dans la nappe triasique des eaux siliceuses et radioactives.

Ce serait donc le massif du Torrenthorn qui représenterait le bassin collecteur de la nappe aquifère.

¹⁾ Au tunnel du Simplon, les eaux rencontrées du côté d'Iselle sont également remarquablement pauvres en carbonate de chaux; or il est à noter que leur bassin collecteur est triasique, c'est-à-dire constitué par des roches en général magnésiennes ou gypseuses, mais où le calcaire ne manque pas. Les eaux du Simplon sont très semblables à celles de Loèche, bien que pour plusieurs d'entre elles leur température soit beaucoup plus basse. Leur ressemblance chimique, connaissant leur parcours, est en faveur par conséquent de l'hypothèse sur la marche souterraine des eaux de Loèche exprimée ci-après. (Voir *H. Schardt*, Notice sur le profil géologique et le tectonique du massif du Simplon, etc., 1903.)

²⁾ Je connais de semblables petites failles dans le soubassement de Wildelsingen (vallée de Gastern).

L'eau en s'enfonçant cheminerait vers le SW, puis contournerait le batholite¹⁾ en se dirigeant vers le N, et à environ 3 ou 4 kilomètres au N et NW de Loèche se mettrait, alors ascendante, à marcher vers le SE, vers les émergences. L'eau suivrait un pas de vis descendant en faisant la moitié du tour du cylindre, puis remonterait vers la surface dans la direction de la zone d'absorption.

Telle est l'hypothèse à laquelle nous arrivons. C'est la seule qui nous paraît remplir les conditions nécessaires pour la minéralisation et le réchauffement de la nappe aquifère de Loèche. On trouvera peut être un peu contournées les canalisations de cet immense thermo-siphon. Mais quelles que soient les critiques que l'on puisse m'adresser, je demande que l'on n'oublie pas les difficultés que j'ai désiré vaincre en suivant un chemin un peu nouveau et bien obscur encore dans lequel j'ai peut-être essayé témérairement de m'aventurer

9. Température des sources thermales.

À la suite du tremblement de terre de Viège, en 1855, le bruit courut, colporté par les journaux, que les sources de Loèche s'étaient troublées et que leur température s'était élevée.

Louis Dufour, professeur de physique à l'Académie de Lausanne, essaya d'arrêter cette légende naissante et publia immédiatement le résultat de son enquête faite le 8 août, soit deux semaines après la secousse principale (25 juillet). Malgré cette publication rapide, la légende s'est faite; elle s'est introduite dans les ouvrages didactiques qui l'ont tirée du livre classique de *Fuchs*²⁾ sur les volcans et tremblements de terre [38. p. 128].

Voici les résultats de l'enquête du professeur lausannois.

Louis Dufour rencontra à Loèche le médecin *Lorétan* qui avait mesuré la température des sources une dizaine d'années auparavant. Ses mesures étaient, St-Laurent 51°, Source des Pauvres 47°, Source du Bain de Pieds 39,2°. *Lorétan* avait conservé son thermomètre que *Dufour* put comparer avec celui qu'il avait apporté.

Dufour trouva pour St-Laurent 51°, Source des Pauvres 46° et Source du Bain de Pieds 41,3°.

„La source du Bain de Pieds seule paraît avoir subi une légère influence quant à sa masse et à sa température“, concluait le professeur de physique.

Examinons un peu cette conclusion du reste peu ferme.

Lorétan avait remarqué que la source avait augmenté de volume et charriait un peu plus de limon ardoisier. Cette première appréciation n'est basée sur aucun jaugeage et l'on sait combien il est difficile d'évaluer le volume d'une source simplement par le regard. J'estime donc qu'on ne peut tirer aucun argument des évaluations de *Lorétan*. Quant au trouble manifeste des

¹⁾ Dans le tunnel du Lötschberg, le batholite granitique s'est montré, ainsi qu'on pouvait s'y attendre, très pauvre en sources. Il joue donc le rôle d'un bourrelet à peu près impénétrable à l'eau descendante, laquelle doit ruisseler à sa surface comme sur un toit de coupole. Mon collègue, le Prof. *Hugi*, de Berne, qui fut géologue de la Compagnie du chemin de fer des Alpes bernoises, me communique les renseignements suivants: l'eau rencontrée dans la région du granit de Gastern n'était qu'à l'état de suintements plus ou moins faibles, ou bien tombait, par places, goutte à goutte; ce n'est que très localement qu'elle a formé des sources un peu importantes.

Sur le côté nord, sur une longueur de 3373 mètres de granit dominant (entre 3980 et 7353 m du portail) il n'a été rencontré que 14 suintements ou régions de suintements larges jusqu'à 6 mètres, mais d'où l'eau ne faisait que de dégoutter.

Sur le côté sud, sur une longueur de 3603 mètres de granit dominant (entre 3580 et 7183 m du portail) il fut rencontré trois sources, aux cumulées 3767, 3851 et 4349 m, les deux premières sources ayant un débit de 90 litres-minute et la dernière de 60.

Dans le coin sédimentaire du versant sud (coin analogue à ceux qui doivent former les régions d'accumulation des sources thermales de Loèche, dans notre manière de voir) entre 3297 et 3580 m il fut rencontré 4 sources (3408, 3412, 3413, 3418 m.) dont la totalité du débit était de 720 litres-minute.

²⁾ *Fuchs* n'a du reste pas été très catégorique: „Les sources de Loèche ont gagné, dit-on, 7 degrés et la masse d'eau qu'elles fournissent a considérablement augmenté, depuis que la vallée supérieure du Rhône a été dévastée par le tremblement de terre de 1855.

sources, et l'on ne sait si ce sont toutes les sources ou une seule qui furent troublées, rien ne prouve que ce phénomène soit dû à un séisme, car parfois, et c'est un fait bien connu, les sources se troublent sans cause apparente. *Dufour* fit du reste cette remarque.

Enfin, la température de la source avait été prise dix ans auparavant. L'augmentation de température a pu donc se faire bien antérieurement à 1855. Et il serait singulier qu'une seule source, sur les trois mesurées, eût varié. Nous pouvons donc dire que le tremblement de terre de 1855 n'a eu aucune action sur les sources en général et aucune qui ne puisse être démontrée, ce qui revient au même, pour la source du Bain de Pieds.

* * *

Cette enquête de *Dufour* m'a amené à rechercher si la température des sources n'avait pas varié à des dates plus éloignées. J'ai groupé en un tableau (p. 26, 27) toutes les températures prises par différents observateurs. Les chiffres de *Escher* m'ont été communiqués par mon ami le Dr *P. Arbenz*. Il les a trouvés dans les manuscrits du célèbre géologue zurichois. Le professeur *Hugi* m'a communiqué les mesures prises par lui en 1908.

A lire le tableau, des écarts manifestes semblent exister et l'on pourrait conclure que les sources ont d'assez grandes variations de température. Mais examinons de plus près et les chiffres et la valeur des observateurs.

Nom des sources	Noms donnés par les auteurs à ces sources ou aux filons qui les alimentent
1. Staffelin	Quelle jenseits des Flusses, weiter unten (<i>Brunner</i> et <i>Pagenstecher</i>)
2. Rossgüll	Source des chevaux ou Güll (<i>Natterer</i>), source trouble sous le village (<i>Grillet</i>)
3. St-Laurent	Grande source de la place (<i>Natterer</i>), Grosse ou Gemeine Quelle (<i>Razoumowski</i>)
4. Fontaine d'or	(N'existe plus, ancienne perte ou dérivation de la précédente)
5. Bain de pieds	Kleine Quelle (<i>Razoumowski</i>), Heilbad (<i>Br.</i> et <i>P.</i> par erreur)
6. Bain des Pauvres ou des Lépreux actuellement Fischweiherquelle	<div style="display: inline-block; vertical-align: middle;"> <div style="display: inline-block; vertical-align: middle;"> <div style="display: inline-block; vertical-align: middle;">Il y avait</div> <div style="display: inline-block; vertical-align: middle;">jadis</div> <div style="display: inline-block; vertical-align: middle;">3</div> <div style="display: inline-block; vertical-align: middle;">sources</div> </div> <div style="display: inline-block; vertical-align: middle; font-size: 3em; margin: 0 10px;">}</div> <div style="display: inline-block; vertical-align: middle;"> <div style="display: inline-block; vertical-align: middle;">La Vomitive (<i>Natterer</i>), Kotzbrunn (<i>Razoumowski</i>)</div> <div style="display: inline-block; vertical-align: middle;">Les deux voisines (<i>Natterer</i>), Güllbrunn (<i>Razoumowski</i>)</div> </div> </div>
7. Source de la Guérison ou Heilbad	<div style="display: inline-block; vertical-align: middle;"> <div style="display: inline-block; vertical-align: middle;">Il y avait</div> <div style="display: inline-block; vertical-align: middle;">jadis</div> <div style="display: inline-block; vertical-align: middle;">plusieurs</div> <div style="display: inline-block; vertical-align: middle;">sources</div> </div> <div style="display: inline-block; vertical-align: middle; font-size: 3em; margin: 0 10px;">}</div> <div style="display: inline-block; vertical-align: middle;"> <div style="display: inline-block; vertical-align: middle;">La plus grande près du bain (<i>Natt.</i>), Source de gauche (<i>Lugeon</i>)</div> <div style="display: inline-block; vertical-align: middle;">Hügelquelle (<i>Br.</i> et <i>P.</i> qui comptaient 5 s.). S. de droite (<i>Lugeon</i>)</div> <div style="display: inline-block; vertical-align: middle;">Source extérieure (<i>Lugeon</i>)</div> <div style="display: inline-block; vertical-align: middle;">» » (<i>Lugeon</i>)</div> <div style="display: inline-block; vertical-align: middle;">» » (<i>Lugeon</i>)</div> </div>

Les premières mesures sont celles de *Natterer*, un pharmacien de Sion, qui fit une étude très approfondie des sources, ainsi que je l'ai dit dans l'historique. Toutes les températures données par cet auteur me paraissent trop élevées. Elles sont supérieures à celles de *Razoumowski* prises quinze ans plus tard. La variation la plus grande atteint 5.62° pour le Bain de Pieds. Or *Razoumowski* nous apprend que la chaleur de cette source ($33^{\circ} \text{R} = 41.25^{\circ} \text{C}$) serait plus considérable si une source d'eau froide ne venait s'y joindre. La comparaison ne peut donc utilement se faire d'après cette source. D'autre part, la température de 47.5 que donne *Razoumowski* pour la source de la Guérison paraît trop faible si nous la comparons à celles données par *Brunner* et *Pagenstecher* dans leur remarquable monographie. A l'époque de ces différents auteurs, il y avait plusieurs émergences de la source de la Guérison, d'où à penser que *Razoumowski* qui n'indique du reste qu'un seul chiffre pour „six filets d'eau“ [16 p. 118] ne s'est pas adressé à tous les filons, car *Natterer* et *Brunner* sont d'accord pour déclarer que ces filets ont des températures variables les uns des autres.

Cette discussion nous amène à ce premier allégué: les seules sources utilement comparables de *Natterer* et de *Razoumowski* sont celles de St-Laurent et des Pauvres.

Or ces seules comparaisons utiles nous montrent que les mesures de *Natterer* sont supérieures de 1.88° pour St-Laurent et 2.5° pour les Pauvres. Cela m'amène au deuxième allégué:

Températures en degrés centigrades indiquées par les auteurs																	
	1769	1783	1798	1828	1838	1842	IX 1844	avant 1855	1855	avant 1904	avant 1904	X 1904	VI 1907	XI 1907	XI 1908	VIII 1911	
	Natterer	Razoumowski	Develey	Brunner et Pagenstecher	Escher v. d. Linth	de Fellenberg	Morin	Lorétan	L. Dufour	de Werra	Notice médicale	Lugeon	Lugeon	Lugeon et Hugi	Hugi	Lugeon et Vernadsky	
1	—	—	—	34.62	—	—	—	—	—	—	—	31.95	31.29	—	—	31.75	
2	40.00	—	—	36.87	—	—	43.00	—	—	—	47.20	46.05	45.93	46.00	—	46.10	
3	53.75	51.87	52.45	{ 50.62 51.00 }	51.00	—	51.25	51.00	51.00	51.35	51.35	51.06	50.95	50.70	50.80	50.93	
4	50.62	47.50	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
5	46.87	41.25	—	{ 38.87 39.60 }	{ 33.50 37.00 }	—	39.25	39.20	41.30	39.25	39.25	42.55	43.50	{ 42.60 43.00 }	{ 41.20 42.20 }	{ 42.20 42.40 }	
6	50.00	47.50	—	46.56	{ 47.15 46.00 }	—	46.50	47.00	46.80	41.50 ?	41.50 ?	46.80	46.80	{ 46.70 47.40 }	{ 46.70 47.40 }	{ 46.60 46.60 }	
6	—	—	—	45.75	{ 46.45 46.45 }	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
7	52.50	47.50	—	49.37	49.80	—	—	—	—	—	—	47.00	46.80	46.80	46.95	47.00	
7	51.25	47.50	—	49.00	49.00	—	—	—	—	—	—	47.16	47.10	46.80	46.55	47.10	
7	50.62	—	—	47.81	—	49.35	48.75	—	—	48.75	48.75	46.60	45.50	46.90	46.90	47.15	
7	—	—	—	48.62	43.00	—	—	—	—	—	—	44.60	—	45.40	40.90	47.00	
7	—	—	—	50.00	—	—	—	—	—	—	—	44.50	42.70	44.20	44.45	44.35	

Les valeurs données par les notices médicales et de *Werra* sont prises dans la publication de *Grillet* (sauf la température de la Rossgüll). *Grillet* les a copiées dans le rapport de *Morin*. En copiant il a commis une erreur et descendu la température de la Source des Pauvres à 41.50° (au lieu de 46.50° que donne *Morin* dans l'extrait de son rapport publié en 1845). (Je rectifie l'erreur.) Mes propres températures ont été prises avec un jeu de thermomètres étalonnés, de *Ruelle*, constructeur à Paris.

le thermomètre de *Natterer* indiquait des températures trop élevées d'environ 2 degrés.

Comparons maintenant les valeurs ainsi corrigées à celles données par *Brunner* et *Pagenstecher*, munis d'instruments certainement bien mieux étalonnés donnant le $\frac{1}{10}$ de degré Réaumur, et à celles des autres observateurs et examinons source après source.

1° La Staffelin. — Cette source sort dans le lit d'un ruisseau, il peut y avoir des mélanges d'eau froide; la comparaison est inutile.

2° La Rossgüll. — *Natterer* donne 40 que nous devons ramener à 38 environ. *Brunner* 36.₈₇. *Morin* 43. Notice médicale 47.₂. *Lugeon* et *Hugi* moyenne 46.

Les températures données par la notice médicale (ainsi que celles du Dr de Werra) sont en général copiées sur celles de *Morin* (Grillet). La Rossgüll fait seule exception. En éloignant cette mesure faite par un inconnu, nous voyons que depuis 1769 la température de la source semble diminuer très légèrement jusqu'en 1829, diminution que l'on peut à la rigueur attribuer à une lecture non rigoureuse, pour remonter certainement jusqu'à nos jours. C'est là un fait important dont nous verrons la valeur plus loin.

3° et 4° St-Laurent. — La température de cette source de 1769 à notre époque n'a varié que de quelques dixièmes de degré (la seule mesure de *Develay* fait exception et est de ce fait à rejeter). Entre 1904 et 1911 mes mesures montrent une variation maximale de 0.₂₆°. (Mesures prises avec le même thermomètre, instrument étalonné de Ruelle de Paris.)

Peut-être y a-t-il une très légère diminution de la température, diminution qui ne dépasserait pas 0.₅°. Pour sauvegarder toute critique nous dirons que la source de St-Laurent présente une température constante de 1769 à 1911, soit en 142 ans, avec une diminution possible de 0.₅, et avec des variations annuelles qui arrivent à 0.₂₅°.

5° Bain de Pieds. — La température de cette source baisse de 1789 à 1838, remonte un peu en 1845. Mais nous savons qu'il y avait dans le voisinage une source d'eau froide (elle existe toujours) qui se mélangeait à la source.

Cette source a été captée aussi bien que possible avant 1866 (date de l'ouvrage de *Grillet*). Nous savons que des venues d'eau froide arrivent encore, vu les pulsations que présente le thermomètre, pulsations pouvant atteindre un degré. Ces variations mises à part, il semble que depuis 1855, la source a une température qui varie entre 41.₂₀ et 43.₀₀°.

6° Bain des Pauvres. — En corrigeant la mesure de *Natterer*, on croit voir une très légère diminution vers 1828. Dès 1828, en se basant sur les valeurs de *Escher*, on voit que les variations rentrent dans les chiffres que j'ai relevés de 1904 à 1911. On peut donc estimer qu'à un degré près la température des filons de cette source est constante depuis 1769.

7° Source de la Guérison. — La comparaison est difficile puisqu'il y a plusieurs filons. Si nous examinons la température la plus élevée après avoir corrigé les chiffres de *Natterer*, nous pouvons considérer la température comme constante de 1769 à 1844. En effet, les variations ne seraient comprises qu'entre 49.₇₅ et 50.₅ (*Natterer* corrigé). *Morin* ne donne qu'un seul chiffre en 1845. Nous devons l'écarter, car il n'est pas nécessairement celui du filet le plus élevé. (Le captage actuel, très rudimentaire, a été exécuté en 1842).

Les températures que j'ai relevées dès 1904 ne s'élèvent jamais au-dessus de 47.₁. Les variations pour les deux filets étant comprises entre 46.₈₀ à 47.₁₀. Il y a donc actuellement une variabilité très faible de l'ordre de celles observées à la source de St-Laurent, et sensiblement de l'ordre de celle donnée par les anciens auteurs.

La température aurait donc chuté légèrement après 1844. Estimée sur les températures les plus élevées constatées entre l'ancienne époque et l'actuelle, la diminution de chaleur a été d'environ 3 degrés.

On peut se demander si les sources ne présentent pas des variations saisonnières de température supérieures aux variations annuelles que nous comparons. Ce n'est pas le cas. Selon la demande du professeur *Heim*, il a été fait, par un employé des bains, chaque mois, à chaque jour fixe, des mesures thermiques.

Ces mesures effectuées pendant un certain temps n'ont pas indiqué de variations supérieures à celles que j'ai relevées. Il ne paraît pas y avoir de rythme dû aux saisons.

Nous voyons donc que sur l'ensemble des grosses sources, quatre présentent un certain intérêt au point de vue de la variation des températures. Les deux sources centrales (car j'éloigne la source du Bain de Pieds) ont des variations si faibles qu'on peut considérer leur chaleur comme constante. Tel n'est pas le cas des grosses sources extrêmes: la Guérison et la Rossgüll.

La température de la Rossgüll a augmenté durant le XIX^e siècle, celle de la Guérison a diminué pendant cette même période.

Nous ne savons ce que réserve l'avenir, mais il m'est permis de faire une hypothèse qui ne pourra être vérifiée que par de très lointains successeurs.

J'ai dit que fatalement les sources devaient émigrer peu à peu vers les plus basses.

J'ai pensé trouver une confirmation de cette hypothèse dans le fait que l'amas de tuf est bien plus considérable à l'Obere Maressen qu'à l'Untere Maressen.

S'il y a migration, les sources inférieures doivent peu à peu augmenter de volume. Augmentant de volume, leur perte de température doit être de plus en plus faible et en conséquence elles doivent se réchauffer, tandis que les sources plus hautes diminuant de volume doivent aller en se refroidissant.

Or, en exceptant la Staffelin sur laquelle on ne peut se baser, puisqu'elle sort dans un ruisseau, on constate que la Rossgüll a augmenté de température, tandis que la source de la Guérison a au contraire diminué, ce qui est conforme à l'hypothèse.

Telle est une conclusion dernière que mes successeurs, dans un ou deux siècles, pourront vérifier ¹⁾.

¹⁾ A titre de simple curiosité j'ai calculé, à l'exemple de de *Launay*, ce que représente annuellement, en tonnes de houille, le nombre de calories produites par les sources utilisées de Loèche, y compris la Rossgüll. En supposant que la combustion d'un kilogramme de houille dégage 6000 grandes calories, il faudrait brûler 791 tonnes pour dégager une chaleur égale.

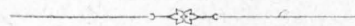


Bibliographie.

(Il n'est pas fait mention des travaux qui n'ont qu'un intérêt médical.)

1. 1476. **Theophrastus Paracelsus**. Schreiben von Warmen oder Wildbädern.
2. 1489. **Gundefingen**. De thermis badensibus.
3. 1543. **Seb. Munster**. Cosmographia universalis (Basilea).
4. 1546. **Johannes Stumpf**. Gemeiner löblicher Eydgenossenschaft Stätten, Landern und Völkeren, Chronikwürdiger Thaaten Beschreybung (Première édition en 1546, éditions successives par C. Waser et M. Wilder en 1586 et 1606).
5. 1569. **Gaspar Ambühl Collinus**. De Sedunorum Thermis et aliis fontibus medicatis.
6. 1574. **Simler**. Vallesiae Descriptis Libri duo. De Alpibus Commentarius accessit his Appendix descriptionis Vallesiae (Tiguri). (Augmenté et édité quatre fois sous le titre de Vallesiae et Alpium descriptio).
7. 1629. **Fabricius Hildanus**. Consilium in quo de conservanda Valetudine, item de Thermis Valesianis.
8. 1647. **Constantin a Castello**. Bad-Gespann (Sion).
9. 1680. **J. J. Wagner**. Historia naturalis Helvetiae curiosa.
10. 1706—1710. **J. J. Scheuchzer**. Beschreibung der Naturgeschichten des Schweizerlandes, 3 vol. (l'œuvre fut continuée de 1716 à 1718 en trois volumes sous trois titres différents; 2^e édition en 1752, sous le titre de Naturhistorie des Schweizerlandes).
11. 1715. **J. F. Erler**. Geistlicher Samaritan.
12. 1723. **J. J. Scheuchzer**. Itinera alpina.
13. 1769. **Natterer**. Beschreibung der Mineralwasser des Leukerbades (traduit en français en 1770).
14. 1776. **Rouelle**. Analyse des eaux minerales des bains de Loèche (Tableau de la Suisse en voyage pittoresque, etc., t. IX, Paris), (Journal de médecine par Roux, t. 45, p. 541).
15. 1787. **Levade**. Sur les bains de Louèche (Mémoire de la Société des Sc. phys. de Lausanne, t. 3, Histoire de la société, p. 46-49).
16. 1784. **Razoumowsky**. Voyage minéralogique dans le gouvernement d'Aigle et une partie du Valais (Lausanne).
17. 1788. **C. F. Morell**. Chemische Untersuchung einiger der bekanntern und besuchtern Gesundbrunnen und Bäder der Schweiz (Bern).
18. 1798. **Develay**. Observations et expériences sur les eaux thermales de Louèche, en Valais (Lausanne et Paris).
19. 1805. **J. G. Ebel**. Manuel du voyageur en Suisse. (1^{re} éd. allemande en 1793 en 2 vol., 2^e en 1804 en 4 vol., 3^e en 1804-1819; ces éditions sous le titre: Anleitung auf die nützlichste und genuss vollste Art, die Schweiz zu bereisen.)
20. 1812. **Hölder**. Reise durch das Wallis.
21. 1820. **X.** Statistischer Versuch über den Kanton Wallis (Helvetischer Almanach auf das Jahr 1820, Zürich).
22. 1821. **Ure**. Notice sur les eaux thermales de Leuk en Valais (Bibl. univ. des sciences, belles-lettres et arts, Genève, t. 17, p. 318-320).
23. 1821. **Bridel**. Essai statistique sur le canton du Valais.
24. 1825—1832. **G. Rüsch**. Anleitung zu dem richtigen Gebrauche der Bade- und Trinkeuren uberaupt, mit besonderer Betrachtung der Schw. Mineralwasser und Badeanstalten (3 Theile, Ebnet, Bern und Chur).

25. 1827. **C. Brunner.** Ueber das Vorkommen des Strontians in verschiedenen Mineralwassern, unter andern in den warmen Quellen von Leuk (Actes de la Soc. helv. des Sc. nat. 14^e session, Lausanne).
26. 1828. **Brunner et Pagenstecher.** Chemische Analyse der Heilquellen vom Leuk im Kanton Wallis (Denkschriften der Allgemeinen Schweizerischen Gesellschaft für die gesammten Naturwissenschaften, Bd. I, Abth. I, p. 239-270). Actes de la Société, 14^e session annuelle, en 1828, à Lausanne).
27. 1828. **Brunner et Pagenstecher.** Chemische Untersuchung des Leuker-Bades (Actes de la Soc. helv. des Sc. nat. 14^e session, à Lausanne).
28. 1844. **Gilliéron.** Remarques sur divers points d'histoire naturelle étudiés pendant un séjour aux eaux de Louèche (Bull. Soc. vaud. Sc. nat. vol. I, Bull. 9, p. 341).
29. 1844. **L. R. de Fellenberg.** Analyse de l'eau de la source thermale de l'hôtel des Alpes, à Louèche (Bull. Soc. vaud. Sc. nat. vol. I, p. 311).
30. 1844. **L. R. de Fellenberg.** Analyse der Thermalquellen des Hôtel des Alpes, in Leuk (Verh. des Schw. Naturforschenden Gesellschaft, 29^e session, Coire, p. 106).
31. 1845. **Pyr. Morin.** Analyse de l'eau minérale de Louèche, source St-Laurent (Bibl. univ. de Genève, 3^e série, t. 56, p. 363-377) (Annales des mines, 4^e série, p. 473).
32. 1845. **A. Lorétan.** Die warmen Quellen des Leukerbades nebst seiner Umgebung (Sion).
33. 1845. **A. Lorétan.** Notice sur les sources thermales de Loèche-les-Bains et sur ses environs (traduction française par J. W. H[ubert], (Genève) (2^e édition en 1857).
34. 1855. **L. Dufour.** Température des sources thermales de Loèche (Bibl. univers., Genève, vol. 30, p. 59.)
35. 1855. **A. de Morlot.** Article sur Loèche-les-Bains (Courrier du Valais, n^o 61, 1^{er} août).
36. 1857—1858. **G. H. Otto Volgen.** Untersuchungen über das Phänomen des Erdbeben in der Schweiz, 3 Teile.
37. 1866. **J. H. Grillet.** Loèche-les-Bains, Canton du Valais, Suisse, son histoire, ses sources thermales, ses divers établissements publics, etc., Genève, 2^e édition.
38. 1876. **K. Fuchs.** Les volcans et les tremblements de terre.
39. 1877. **Ph. De la Harpe.** Note sur la géologie des environs de Loèche-les-Bains (Bull. Soc. vaud. Sc. nat. vol. XV, p. 17-48).
40. 1884. **H. T.** Les bains de Loèche, Guide du touriste et du baigneur (Lausanne, Impr. Corbaz & C^{ie}).
41. 1886. **Lunge und K. E. Schmidt.** Analyse der Therme von Leuk (Wallis) (Zeitschrift für Analytische Chemie von Fresenius, Jahrgang 1886, p. 309).
42. 1905. **Maurice Lugeon.** La distribution des sources thermales de Loèche-les-Bains (Bull. Soc. vaud. Sc. nat., vol. XLI, p. XXIII).
43. 1907. **J. von Sury.** Ueber die Radioaktivität einiger Schweizerischer Mineralquellen (Mitt. der Naturforschenden Gesellschaft in Freiburg. Schweiz. Chemie, Bd. II, Heft 4).
44. 1911. **Maurice Lugeon.** Carte géologique des Hautes Alpes calcaires entre la Lizerne et la Kander (Matériaux pour la carte géologique de la Suisse, carte spéciale, n^o 60, Berne, Librairie Francke).



Carte géologique

des
Environns de Loèche=les=bains
(Leukerbad=Valais)

par
MAURICE LUGEON.

- Sources thermales captées
- Sources thermales non captées
- Sources froides
- Tuf
- Glaciaire et Eboulis
- Bajocien
- Aalénien

